

# **Närklimat vid avvänjning av smågrisar**

## ***Thermal invironment for weaning piglets***

***Peter Bringevik***

Examensarbete för agronomexamen

**Keywords:**

Weaning piglets, thermal environment, floors

---

**Sveriges lantbruksuniversitet  
Institutionen för jordbrukets  
biosystem och teknologi (JBT)**

Box 43  
230 53 ALNARP

Tel: 040 - 41 50 00  
Telefax: 040 - 46 04 21

**Swedish University of  
Agricultural Sciences  
Department of Agricultural  
Biosystems and Technology**  
P.O. Box 43  
SE-230 53 ALNARP  
SWEDEN  
Phone: +46 - 40 41 50 00  
Fax: +46 - 40 46 04 21

---



---

## FÖRORD

Avvänningsdiaréer är ett sjukdomsförlopp vilket man bland annat behandlar med antibiotika. I tider då man försöker marknadsföra svensk djurhållning med minimal antibiotikaanvändning är alla åtgärder för att på andra sätt bibehålla produktionen utan störningar av vikt. Man har sett att omgivningstemperaturen för avvänningsgrisarna är av stor betydelse för hur de utvecklar avvänningsdiaréer eller ej. Denna undersökning syftar till att hjälpa svenska grisproducenter att med en viktig faktor kunna minska avvänningsgrisarnas problem med diarréer. Här presenteras också en metodik, både teoretiskt och praktiskt, för hur man på ett enkelt sätt kan bestämma grisarnas undre kritiska temperatur.

Detta arbete är en del av min utbildning till teknikagronom och har utgjort mitt examensarbete omfattande 20 poäng i ämnesområdet teknologi.

Examinator och handledare är statsagronom Gösta Gustafsson, JBT Alnarp. Professor Ove Olsson, Svenska djurhälsovården, har även agerat handledare och sett till att göra finansieringen möjlig för detta arbete.

Jag vill rikta ett stort tack till de personer som hjälpt mig under dessa år att slutföra mitt examensarbete och främst då Gösta Gustafsson som hela tiden manat mig att slutföra detta arbete. Tack till Maxima som upplät lokal till mig den tid jag satt i Skara och gjorde mina undersökningar i fält. Tack också till docent Nils Holmgren, Svenska djurhälsovården, för hjälp med kontakt med svinproducenter. Tack alla lantbrukare som låtit mig hållas med mätningar i stallar. Tack SJV för hjälp med finansiering av projektet.

Jag vill slutligen också höja ett varningens finger till de studenter som läser detta och som är i stånd att påbörja sitt examensarbete;

- *Påbörja inte en anställning innan examensarbetet är helt slutfört.*

Jag talar av egen segdragen erfarenhet.

---

## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

|  |           |
|--|-----------|
| <b>FÖRORD</b>  | <b>1</b>  |
| <b>BETECKNINGAR</b>                                  | <b>4</b>  |
| <b>SAMMANFATTNING</b>                                | <b>5</b>  |
| <b>SUMMARY</b>                                       | <b>6</b>  |
| <b>1 INLEDNING</b>                                   | <b>7</b>  |
| 1.1 Bakgrund   | 7         |
| 1.2 Syfte  | 8         |
| <b>2 LITTERATURSTUDIE OCH TEORI</b>                  | <b>9</b>  |
| 2.1 Strålning  | 9         |
| 2.2 Konvektion                                       | 10        |
| 2.3 Ledning  | 10        |
| 2.4 Evaporation                                      | 11        |
| 2.5 Värmereglering                                   | 11        |
| 2.5.1 ZM   | 12        |
| 2.5.2 ZS   | 12        |
| 2.5.3 ZL   | 13        |
| 2.6 Kontaktytor                                      | 13        |
| 2.7 Kroppsvävnadens isolering                        | 13        |
| 2.8 Beräkning av den undre kritiska temperaturen     | 14        |
| 2.8.1 Värmeproduktion inom termoneutral zon          | 14        |
| 2.8.2 Värmeavgivning under den kritiska temperaturen | 15        |
| 2.8.3 Undre kritiska temperaturen                    | 17        |
| 2.9 Påverkan av olika ytmaterial i hyddor            | 18        |
| <b>3 MATERIAL OCH METODER</b>                        | <b>21</b> |
| 3.1 Värmehyddor                                      | 21        |
| 3.2 Värmeförluster genom golv med olika strömängder  | 22        |
| 3.2.1 Härledning                                     | 24        |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>3.3 Klimatmätningar</b>                                     | <b>26</b> |
| <b>4 KLIMATMÄTNINGAR I BEFINTLIGA STALLAR</b>                  | <b>27</b> |
| 4.1 Stall 1  | 27        |
| 4.2 Stall 2  | 28        |
| 4.3 Stall 3  | 30        |
| 4.4 Stall 4  | 32        |
| 4.5 Stall 5  | 34        |
| 4.6 Stall 6  | 37        |
| <br>   |           |
| <b>5. RESULTAT</b>   | <b>40</b> |
| 5.1 Klimatmätningar  | 40        |
| 5.2 Värmehyddda  | 40        |
| 5.3 Värmekärl  | 41        |
| 5.3.1 Lägsta kritiska temperatur efter mätningar med värmekärl | 44        |
| <b>6. DISKUSSION</b>   | <b>45</b> |
| 6.1 Material och metoder                                       | 45        |
| 6.1.1 Värmehyddan  | 45        |
| 6.1.2 Värmekärl  | 45        |
| 6.2 Klimatundersökning   | 46        |
| 6.3 Slutsatser   | 47        |
| <br>   |           |
| <b>7. REFERENSER</b>   | <b>47</b> |
| 7.1 Litteratur   | 47        |
| 7.2 Personliga meddelanden                                     | 48        |
| <br>   |           |
| <b>8. BILAGA 1</b>   | <b>49</b> |

## BETECKNINGAR

|                   |  |                   |  |
|-------------------|--|-------------------|--|
| A                 | Djurets totala kroppsarea ( $\text{m}^2$ )                                   | $R_s$             | Värmemotstånd vid strålning ( $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ )                     |
| $A_1$             | Golvets area under värmekärlet ( $\text{m}^2$ )                              | $R_t$             | Vävnadens värmemotstånd vid vasokonstriktion ( $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ )    |
| $A_2$             | Värmekärlets inre area ( $\text{m}^2$ )                                      | $T_1$             | Vattentemp i värmekärl (K)   |
| $A_a$             | Area av gris i kontakt med luft ( $\text{m}^2$ )                             | $T_2$             | Lufttemperatur (K)   |
| $A_e$             | Effektiv avdunstningsyta hos djuret ( $\text{m}^2$ )                         | $T_a$             | Omgivningstemperatur (K)   |
| $A_c$             | Kontaktyta mot andra grisar för grisar i grupp ( $\text{m}^2$ )              | $T_b$             | Rektaltemperatur ( $^\circ\text{C}$ )  |
| $A_{co}$          | Kroppsarea som deltar i värmeutbytet genom konvektion ( $\text{m}^2$ )       | $T_{cr}$          | Undre kritiska temperaturen (K)  |
| $A_f$             | Area av gris i kontakt med golv ( $\text{m}^2$ )                             | $T_g$             | Temperatur under golvkonstruktionen (K)  |
| $A_l$             | Kroppsarea som deltar i värmeutbytet mot golv genom ledning ( $\text{m}^2$ ) | $T_{p\ddot{a}ls}$ | Pälsens temperatur ( $^\circ\text{C}$ )  |
| $A_r$             | Kroppsarea med strålningsutbyte ( $\text{m}^2$ )                             | $T_s$             | Djurets hudtemperatur (K)  |
| ER                | Energiupptag i kött (W)  | t                 | Tid (s)  |
| $C_p$             | Specifik värmekapacitet ( $\text{J}/\text{kg}\cdot\text{K}$ )                | $U_1$             | Golvets värmegenomgångskoefficient ( $\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ )                      |
| $f_c$             | Koefficient som beror av konvektionsytans dimension och ytbeskaffenhet       | $U_2$             | Värmekärlets värmegenomgångskoefficient ( $\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ )                 |
| k                 | Effektivitetsfaktor  | UA                | Total värmegenomgång ( $\text{W}/\text{K}$ )   |
| $k_e$             | Avdunstningskoefficient  | v                 | Lufthastighet (m/s)  |
| $m_g$             | Grisvikt (kg)  | $\alpha_r$        | Värmeövergångstal för långvågig strålning från pälsen ( $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ ) |
| m                 | Vattnets massa (kg)  | $\alpha_c$        | Värmeövergångstal för konvektion ( $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ )                      |
| ME                | Omsättningsbart energiupptag i foder (W)                                     | $\alpha_l$        | Värmeledningstal för ledning mot golv ( $\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ )           |
| $ME_m$            | Omsättningsbart energiupptag för underhållsbehovet (W)                       | $\varepsilon$     | Emissionskoefficient   |
| n                 | Antalet djur som vilar tätt tillsammans (st)                                 | $\Phi_a$          | Värmeavgivning via luftlagret (W)  |
| $p_1$             | Ångtryck vid djurets hud (Pa)  | $\Phi_c$          | Värmeavgivning genom konvektion (W)  |
| $p_2$             | Ångtryck i den fria luften (Pa)  | $\Phi_e$          | Värmeavgivning genom evaporation (W)   |
| $R_a$             | Övergångsmotstånd till luft ( $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ )   | $\Phi_l$          | Värmeavgivning genom ledning mot underlaget (W)  |
| $R_c$             | Värmemotstånd vid konvektion ( $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ )  | $\Phi_{min, b}$   | Minimala bundna värmeavgivningen (W)   |
| $R_e$             | Värmemotstånd vid evaporation ( $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ ) | $\Phi_s$          | Värmeavgivning genom strålning (W)   |
| $R_f$             | Värmemotstånd genom golv ( $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ )      | $\Phi_{tnz}$      | Värmeproduktion inom termoneutral zon (MJ)   |
| $R_{p\ddot{a}ls}$ | Pälsens värmemotstånd ( $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ )         | $\Phi_{tot}$      | Total värmeavgivning (W)   |
|                   |  | $\Phi_{uk}$       | Värmeavgivning under den kritiska temperaturen (W)   |

---

## SAMMANFATTNING

Flera undersökningar har visat att grisar som avvänjs har stort behov av värme. Detta till stor del beroende på att man ofta ger grisarna minimalt med foder strax efter avvänjningen. Vissa av dagens svinproducenter har försökt komma till rätta med dessa problem genom att bygga någon sorts hydda för grisarna att vistas i. Några av dessa stallar har undersökts och visat på brister i funktionen av dessa hyddor. De ger inte den förväntade värmeökning man önskat. Främst beror detta på att hyddorna ej är tillräckligt täta och därför läcker värme ut som finns i hyddorna.

En prototyp av en värmehydda har tillverkats med plats för ca 10 nyavvanda grisar. Där har undersökts hur olika takhöjder (öppningsarea) och isoleringsgrad påverkat differensen mellan temperaturen inne i hyddan jämfört med utanför,  $\Delta T$ . Takhöjder mellan 400 mm och 700 mm ovan golv har undersökts. Takhöjder omkring 700 mm är idag en vanlig höjd hos tillverkare av dessa slags värmeåtgärder för avvänjningsgrisar. Takhöjder under 400 mm anses inte vara relevant för avvänjningsgrisar då det börjar bli problem för grisarna att komma under taket. Det har här påvisats att öppningsarean hade störst betydelse för ett ökat  $\Delta T$ . Undersökningen visade att man kan få ett  $\Delta T$  på över 12 °C med hjälp av en helt oisolerad hydda utan tilläggsvärme. Om man därutöver isolerar hyddans tak och väggar når man ett  $\Delta T$  på ytterligare ca 1 °C. Denna temperaturökning är ofta inte tillräcklig med den restriktiva utfodring man många gånger har till nyavvanda grisar idag.

Houszka (2001) visade att hyddans vägg- och takmaterial har stor påverkan på den operativa temperaturen i hyddan. Om man kombinerar en hydda med låg takhöjd och använder material som reflekterar värmen väl bör man kunna komma upp i önskade temperaturer, utan tilläggsvärme, för avvänjningsgrisarna.

Här presenteras också en metodik för att bestämma olika golvs värmemotståndstal. Metodiken bygger på ett enkelt välisolerat värmekärl som fylls med hett vatten och som endast har möjlighet att avge värme mot golvytan. Genom att studera temperaturavklingningsprocessen visas här hur man kan bestämma olika golvs värmemotståndstal utan att ha någon vetskap om golvets karaktär avseende isoleringsmängd, betongtjocklek och temperatur vid mättillfället.

Detta värmemotståndstal ligger till grund för att bestämma avvänjningsgrisarnas lägsta kritiska temperatur med hjälp av en metodik Bruce & Clark (1979) utarbetat. Dessa lägsta kritiska temperaturer presenteras i tabell 10, givet grisvikt, del av underhållsbehovet och golvets värmemotståndstal.

---

## SUMMARY

Several studies have shown that weaning pigs are in great need of heat. The reason for this is mainly because the pigs are given very little feed just after weaning. Some of the pig producers of today have tried to get along with these problems by building some kind of hut for the pigs. Some of these pig houses have been included in this study. The study has shown shortcoming functions for the pig cottage. The expected heat increase has not occurred. This is so mainly because the cottages is not sealed enough and therefore the heat in the cottage leaks out.

A prototype of a heat hut have been made with space for 10 weaning pigs. Different heights of the roof (opening area), and different amounts of insulation have been studied for the effect of differences in air temperature, outside the cottage compared to the inside of the hut,  $\Delta T$ . Roof heights between 400 mm and 700 mm have been studied. Roof heights about 700 mm is a common height for the huts that are produced nowadays. Roof heights below 400 mm is not considered relevant because at that height there is a problem for the pigs to get into the hut.

It has been shown that the opening area had most effect on the increase of  $\Delta T$ . The study showed that it's possible to get a  $\Delta T$  of more than 12°C with an uninsulated hut without any additional heat. If you in addition to that add insulation on the roof and the walls you get a  $\Delta T$  of further 1°C. This increase in temperature is often not enough for weaning pigs that often get little feed.

Houszka (2001) showed that the wall- and roof materials in the cottage have great influence on the operative temperature of the cottage. By combining a small opening area and the use of materials that reflects the heat well in the hut you are probably able to reach expected temperatures, without additional heat, for the weaners.

A methodology is presented which determine different values of the floor thermal resistance of floors. The methodology is based on a simple well insulated heat vessel witch is filled with hot water and whose only possibility to release heat is to the floor surface. By studying the temperature decrease process you can determine the thermal resistance of different floors without knowledge of the floor insulation, thickness of the concrete and the surface temperature at the time of the study.

This value of the floor thermal resistance for the floor is used to determine the lower critical temperature for the weaning pigs by using a methodology that was presented by Bruce & Clark (1979). Those lower critical temperatures are presented in table 10, given weight of the pigs, part of maintenance energy requirement and the thermal resistance of the floor.



---

# 1 INLEDNING

## 1.1 Bakgrund

I en undersökning utförd av Svenska djurhälsovården i vilken man registrerat avvänjningsrutinerna i 350 svenska besättningar har man funnit att ca 50 % av besättningarna hade problem med avvänjningsdiarré. Av dessa 50 % behandlades nästan hälften profylaktiskt med antibiotika och med zinkoxid mot diarréerna och det konstaterades också att termisk komfort, grisarnas behov av värme, saknades i nästan alla besättningar (Löfstedt et al., 2000). Att kunna tillgodose smågrisars värmebehov kan anses som den mest betydelsefulla enskilda faktorn för att minska problem kring avvänjningen (Olsson, 1998).

Behovet av värme beror på flera faktorer. Foderintaget vid en given ålder är en viktig faktor. Eftersom foderintaget är lågt och den fysiska aktiviteten hög hos den avvanda grisen är energibalansen ofta negativ under 4-6 dagar efter avvänjningen (Mc Cracken et al., 1980). Mängden smågrisfoder (12,2 MJ/kg) som behövs för att enbart tillgodose underhållet är hos en 5 kg's gris 0,17 kg/dag, och hos en 10 kg gris 0,26 kg/dag (English et al., 1996). Under de två första veckorna efter avvänjningen lär sig grisen äta i en sådan omfattning att det dagliga foderintaget motsvarar det som var före avvänjningen.

Under avvänjningen förblir kvävebalansen positiv och påverkas i liten grad av omgivande temperatur. Detta innebär att uppbyggnaden av muskulatur m.m. ej är allvarligt störd under avvänjningen.

Energin som behövs för underhåll, fysisk aktivitet och proteinsyntes medför en förlust av i första hand underhudsfett. Denna förlust är större ju lägre omgivningstemperaturen är (Le Dividich et al. 1980). Nedbrytningen av fett fortgår till dess den dagliga tillväxten har nått c:a 200 g/d (Whittemore et al., 1981). Det fettinnehåll som grisen hade innan avvänjning återfår grisen först 4-6 veckor efter avvänjning (Sève, 1982).

Förlusten av underhudsfett efter avvänjningen medför en försämrad isolering av kroppen vilket medför ökade värmeförluster och ett ökat värmebehov. Det ökade värmebehovet kan kompenseras med en högre omgivningstemperatur eller ett ökat foderintag. Vid ett foderintag som motsvarar underhållet är den nedre kritiska temperaturen c:a 26-27°C under första veckan efter avvänjningen för 5-10 kg grisar. Detta gäller för grisar som ligger på spaltgolv (Bruce et al., 1979)

De åtgärder man idag använder för att försöka uppnå termisk komfort är att ordna med något slags tak eller hydda för avvänjningsgrisarna. Detta för att behålla värmen i grisarnas närhet istället för att låta den försvinna ut i övriga stallet (Holmgren, 2001, pers. medd.).

Det finns anledning att tro att dessa lösningar inte tillgodoser grisarnas termiska behov med anledning av resultatet från Svenska Djurhälsovårdens undersökning.

I denna undersökning har ingått en studie över befintliga lösningar för att förbättra det termiska närklimatet hos avvänjningsgrisar.

## 1.2 Syfte

Flertalet författare har påvisat en ökad förekomst av avvänjningsdiarré vid måttligt låga temperaturer (18-20°C) ( Le Dividich et al., 1980; Feenstra, 1985; Wathes et al., 1989). Därför syftar detta arbete till att kunna ge anvisningar till Sveriges smågrisproducenter om hur den termiska värmebalansen skall kunna upprätthållas hos avvänjningsgrisar samt att till viss del undersöka om de åtgärder man idag har för att tillgodose avvänjningsgrisarnas termiska komfort verkligen ger önskad effekt.

Ett syfte med detta arbete var att utarbeta en metodik och kunna bestämma olika golvs värmemotståndstal. Detta bör kunna göras enkelt med inte alltför avancerad apparatur. Med hjälp av denna enkla apparatur sedan kunna använda kända fysikaliska samband för att därav kunna bestämma värmemotståndet i olika golvkonstruktioner. Syftet var att man utan någon som helst vetskap om golvets konstruktion och uppbyggnad med avseende på isoleringsmängd, betongtjocklek och temperatur vid mättillfället kunna bestämma värmemotståndstalet.

Detta värmemotståndstal ska sedan ligga till grund för att kunna bestämma avvänjningsgrisarnas lägsta kritiska temperatur med hjälp av en metodik som Bruce & Clark (1979) utarbetat. Dessa lägsta kritiska temperaturer ska kunna presenteras i tabellform givet grisvikt, del av underhållsbehovet grisen äter och golvets värmemotståndstal.

## 2 LITTERATURSTUDIE OCH TEORI

### 2.1 Strålning

Alla kroppar avger energi i form av värmestrålning. Denna strålningsenergi är här på jorden vanligtvis infraröd, dvs en våglängd på 6 - 20  $\mu\text{m}$  men vid ökad temperatur stiger strålningsintensiteten snabbt eftersom den förhåller sig till ytemperaturen som  $\Phi_s \sim T^4$  enligt Stefan Boltzmanns lag. Strålningsenergin består av elektromagnetiska vågor som rör sig med ljusets hastighet och passerar både luft och vakuum. Kroppar kan vara transparenta för strålning och de elektromagnetiska vågorna kan då passera mediet utan att absorberas. När en icke strålningstransparent kropp, t.ex. en djurkropp, exponeras av de elektromagnetiska vågorna, absorberas energin och kroppen värms upp. På detta vis kan värme överföras mellan närliggande kroppar utan att de är i kontakt med varandra.

Sällvik (1999) beskriver i en generell ekvation (1) energiutbytet mellan kroppar genom strålning enligt:

$$\Phi_s = \alpha_r (T_s - T_a) A_r \quad (1)$$

där:

|              |   |
|--------------|---|
| $\Phi_s =$   | Värmeavgivning genom strålning (W)  |
| $\alpha_r =$ | Värmeövergångstal för långvågig strålning från pälsen ( $\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$ ) |
| $T_s =$      | Djurets hudtemperatur (K)   |
| $T_a =$      | Omgivningstemperatur (K)  |
| $A_r =$      | Kroppens area med strålningsutbyte ( $\text{m}^2$ )                                     |

$\alpha_r$  kan beräknas enligt:

$$\alpha_r = \varepsilon \cdot 0,23 \left[ \frac{T_s + T_a}{200} \right]^3 \quad (2)$$

där:

|                 |                      |
|-----------------|----------------------|
| $\varepsilon =$ | Emissionskoefficient |
|-----------------|----------------------|

Emissionskoefficienten ( $\varepsilon$ ) beror av ytans beskaffenhet och strålningens våglängd. För djur ligger emissionskoefficienten normalt mellan 0,95 – 0,97 (Sällvik, 1999). Bruce (1979) gör i sina beräkningar över slaktsvins värmebalans antagandet att emissionskoefficienten för en grishud är 0,99.

Gustafsson (1988) har i sina beräkningar antagit värmeövergångstalet,  $\alpha_r$ , för strålning mellan en päls och omgivande byggnadsytor vara ca  $5,4 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ .

## 2.2 Konvektion

Förflyttning av värme genom massflöden i gaser och vätskor kallas konvektion. Man delar in konvektionen i två former: naturlig och påtvingad konvektion. Den naturliga konvektionen uppstår när en gas eller vätska värms upp lokalt och densitetskillnaden i mediet orsakar en strömning, t.ex. då varm luft stiger uppåt. Påtvingad konvektion är då man t.ex. får en luftrörelse från någon sorts drivkälla såsom vind, fläkt eller ett tilluftsdon. För djur i stallar brukar man som riktvärde ange att om den konvektiva lufthastigheten är under 0,1 m/s klassificeras det som naturlig konvektion och överstiger lufthastigheten 0,2 m/s dominerar den påtvingade konvektionen. För att beräkna värmeavgivningen genom konvektion kan följande ekvation användas (Sällvik, 1999).

$$\Phi_c = \alpha_c (T_s - T_a) A_{co} \quad (3)$$

där:

$$\begin{aligned} \Phi_c &= \text{Värmeavgivning genom konvektion (W)} \\ \alpha_c &= \text{Värmeövergångstal för konvektion (W/m}^2 \cdot \text{K)} \\ A_{co} &= \text{Kroppens area som deltar i värmeutbytet genom konvektion (m}^2\text{)} \end{aligned}$$

Vid påtvingad konvektion gäller följande samband för värmeövergångstalet  $\alpha_c$  (Sällvik, 1979)

$$\alpha_c = f_c \cdot \sqrt{v} \quad (4)$$

där:

$$\begin{aligned} v &= \text{Lufthastighet (m/s)} \\ f_c &= \text{Koefficient som beror av konvektionsytans dimension och ytbeskaffenhet.} \end{aligned}$$

Genom försök har  $f_c$  bestämts till 9-11 för kor och svin (Sällvik, 1999).

## 2.3 Ledning

Värmeöverföring genom ledning sker då en kropp med en temperaturgradient, eller flera kroppar med olika temperatur berör varandra. En energiförflyttning sker då från den varmare delen mot den kallare. Värmeöverföringen sker genom samverkan av snabba och långsamma molekyler och molekylhastigheten är beroende av temperaturen i materialen.

Då ett djur står upp påverkas det minimalt av ledning p.g.a. att det endast är hovarna/klövarna som är i beröring med underlaget. Av våra husdjur i stallar är grisar de djur som mest påverkas av ledning mot golv. Grisar är de djur som ligger mest, 80 % - 90 % av tiden, och de har dessutom en nästan obetydlig pälsbeklädnad. Vid beräkningar brukar man ange att ca 20 % av kroppsytan är i kontakt med golvet för ett liggande djur. Värmeöverföringen mellan djur och liggplats kan beskrivas enligt ekvation 5 (Sällvik, 1999).

$$\Phi_l = \alpha_l (T_s - T_g) A_l \quad (5)$$

där:

|              |  |
|--------------|--|
| $\Phi_1 =$   | Värmeavgivning genom ledning mot underlaget (W)                      |
| $A_1 =$      | Kropparea som deltar i värmeutbytet mot golv genom ledning ( $m^2$ ) |
| $T_g =$      | Temperatur under golvkonstruktionen (K)                              |
| $\alpha_1 =$ | Värmeledningstal för ledning mot golv ( $W/m^2 \cdot K$ )            |

Övrig ledning som eventuellt kan uppstå är till inredningsdetaljer i stallet men denna ledning är mycket liten och saknar praktisk betydelse (Sällvik, 1999).

## 2.4 Evaporation

Fuktavgivning är en process som har stor betydelse för djurs temperaturreglering (Gustafsson 1988). Då djur blir för varma bildas ett vattenskikt på hudytan antingen genom diffusion eller genom svettkörtlar. Vattnet förångas och energin som åtgår (ångbildningsvärme) tas huvudsakligen från huden. För att avkylningen skall vara effektiv bör avdunstningen ske direkt från huden och inte från pälsen. Vid avdunstning från pälsytan tas en stor del av värmen från omgivande luft och kyleffekten på djuret avtar (Sällvik, 1999).

Svettkörtlarna har stor betydelse för värmeavgivningen hos nöt, får och get. Svin har däremot väldigt få svettkörtlar och ordnar sin värmeavgivning genom att befukta huden på olika sätt t.ex. genom att i stallar rulla sig i sin egen avföring och urin. Dålig hygien hos svin i varma klimat är därför ett naturligt och nödvändigt beteende för att överleva (Gustafsson, 1988). Sällvik (1999) beskriver den evaporativa värmeavgivningen ( $\Phi_e$ ) enligt ekvation 6

$$\Phi_e = k_e \cdot A_e \cdot v^2 \cdot (p_1 - p_2) \quad (6)$$

där:

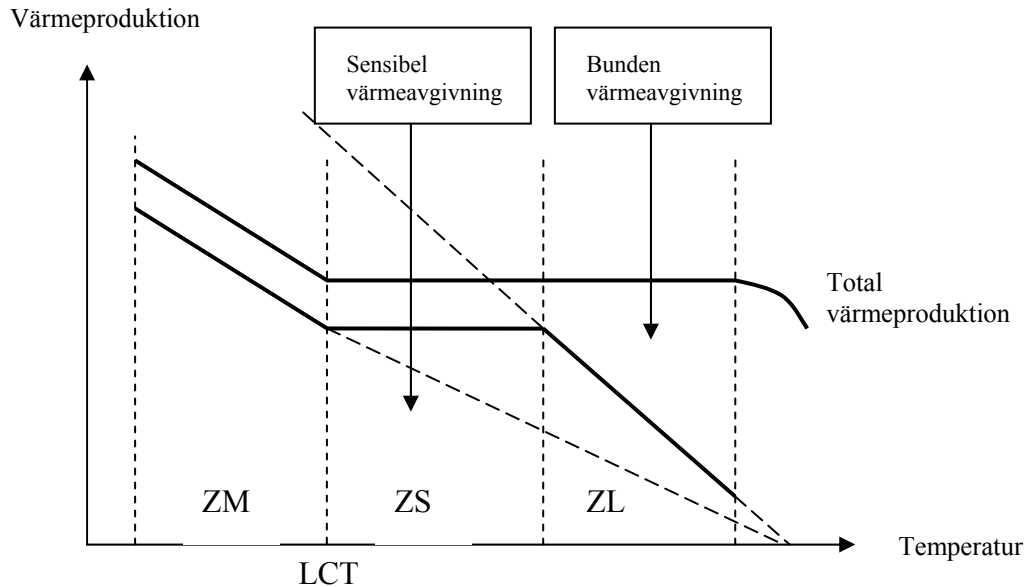
|            |   |
|------------|---|
| $\Phi_e =$ | Värmeavgivning genom evaporation (W)          |
| $k_e =$    | Avdunstningskoefficient                       |
| $A_e =$    | Effektiv avdunstningsyta hos djuret ( $m^2$ ) |
| $p_1 =$    | Ångtryck vid djurets hud (Pa)                 |
| $p_2 =$    | Ångtryck i den fria luften (Pa)               |
| $v =$      | Lufthastighet (m/s)                           |

## 2.5 Värmereglering

Djur har möjlighet att reglera sin kroppstemperatur med tre olika reglermekanismer (Ehrle-mark, 1988):

- Metabolisk värmeproduktion
- Sensibel värmeavgivning (fri värme)
- Bunden värmeavgivning (evaporation)

Sensibel och bunden värmeavgivning brukar med ett gemensamt namn kallas för fysiologisk värmereglering. Dessa tre regleringsmekanismer dominerar inom olika temperaturområden och beskrivs i figur 1.



Figur 1. Schematisk bild över fri respektive bunden värmeavgivning vid olika omgivningstemperaturer (Ehrlemark, 1988).

### 2.5.1 ZM

Temperaturzon med metabolisk temperaturkontroll. Den metaboliska värmeproduktionen används för att kontrollera kroppstemperaturen under den undre kritiska temperaturen (LCT) och här antas kroppens värmemotstånd vara konstant och maximalt. Regleringen sker via nervbanorna och dels hormonellt via blodbanorna (Ehrlemark, 1988). Denna ökning av värmeproduktion kräver ett motsvarande tillskott av smältbar foderenergi. Bruce & Clark (1979) beskriver en beräkningsmodell för den minimala bundna värmeavgivningen för grisar enligt ekvation 7.

$$\Phi_{\min, b} = 0,09 \cdot (8,0 + 0,07 \cdot m_g) \cdot m_g^{0,67} \quad (7)$$

där:

$\Phi_{\min, b}$  = Minimal bunden värmeavgivning (W)  
 $m_g$  = Djurets vikt (kg)

### 2.5.2 ZS

Temperaturzon med kontroll genom sensibel (fri) värmeavgivning. Djuren reglerar sin kroppstemperatur genom att ändra kroppens och pälsens värmemotstånd. Detta kan ske med hjälp av vasokonstriktion (hopdragning eller vidgning av blodkärl) eller med piloerektion (förändra pälsens isoleringsförmåga). Djuren kan också beteendemässigt påverka värmeavgivningen genom att begränsa kroppsytan som avger värme (Sällvik, 1999).

### 2.5.3 ZL

Temperaturzon med kontroll genom latent (bunden) värmeavgivning. Här använder djuren sig uteslutande av evaporation (svettning och hässjning) för att kontrollera kroppstemperaturen. Kroppens och pälsens värmemotstånd är konstant och på minimal nivå (Ehrlemark, 1988).

I zonerna ZS och ZL är djurens metabolism konstant och som lägst samtidigt som den evaporativa värmeregleringen inte ökar. Dessa två zoner kallas med ett gemensamt uttryck för den termoneutrala zonen (TNZ) (Mount, 1974).

## 2.6 Kontaktytor

Grisens kroppsytta har direkt påverkan på värmeavgivningens storlek. Bruce & Clark (1979) beskriver kroppsytan som en funktion av djurets vikt enligt:

$$A = 0,09 \cdot m_g^{0,67} \quad (8)$$

där:

A = Djurets totala kroppsarea (m<sup>2</sup>)

Om golvets värmemotstånd är högre än det sammanlagda värmemotståndet för strålning och konvektion mot luften antas grisarnas kontaktyta mot golvet vara 20 % av grisens totala omslutningsytta. Om golvets värmemotstånd däremot är lägre än det sammanlagda för strålning och konvektion antas kontaktytan mot golvet minska ned till 10 % av den totala kroppsytan (Bruce & Clark, 1979).

Grisar kan beteendemässigt minska värmeavgivningen genom att krypa samman vid kyla. Bruce & Clark (1979) antog att kontaktytan mellan två grisar som ligger tillsammans är 7,5 % av grisens totala omslutningsytta. Då flera grisar ligger tillsammans erhålls två kontaktytor mot andra grisar. Kontaktytans medelvärde för en grupp av grisar beskrivs enligt följande:

$$A_c = 0,15 \cdot A \cdot \frac{n-1}{n} \quad (9)$$

Där:

A<sub>c</sub> = Kontaktyta mot andra grisar för grisar i grupp (m<sup>2</sup>)

n = Antalet djur som vilar tätt tillsammans

## 2.7 Kroppsvävnadens isolering

Genom att ändra blodcirkulationen i de yttre kroppsdelarna kan kroppens eget värmemotstånd ändras väsentligt (Mount, 1979). Denna reglering sker huvudsakligen inom den termoneutrala

området genom vasokonstriktion (sammandragning av blodkärl) och vasodilatation (utvidgning av blodkärl). Kroppens värmemotstånd har därför ett maximivärde vid kyla och ett minimivärde vid värmebelastning. Maximivärdet antas börja gälla vid temperaturer under den undre kritiska temperaturen eftersom djurets egen möjlighet att styra värmeavgivningen upphör där (Gustafsson, 1988).

Bruce (1979) visade att grisarnas vikt har stor inverkan på kroppens värmemotstånd. Efter analys av värmemotståndets förändring, vid vasokonstriktion, med djurvikten fann han följande samband:

$$R_t = 0,02 \cdot m_g^{0,35} \quad (10)$$

där:

$R_t =$  Vävnadens värmemotstånd vid vasokonstriktion ( $m^2 \cdot K/W$ )

Värmemotståndet vid vasodilatation kan antas vara hälften av värmemotståndet vid vasokonstriktion för grisar (Gustafsson, 1988).

## 2.8 Beräkning av den undre kritiska temperaturen

Bruce & Clark (1979) har utvecklat en modell för att beräkna den undre kritiska temperaturen (LCT). Modellen tar hänsyn till olika kombinationer av vikt, foderintag, gruppstorlek och termisk omgivning och består av två beräkningssteg.

1. Värmeproduktionen inom den termoneutrala zonen (TNZ) beräknas
2. Värmeavgivningen under den undre kritiska temperaturen (LCT) beräknas

Utifrån dessa förutsättningar definieras LCT som den temperatur då värmeproduktionen vid den termoneutrala zonen och värmeavgivningen under den kritiska är lika.

### 2.8.1 Värmeproduktion inom termoneutral zon

Inom den termoneutrala zonen är värmeproduktionen konstant och oberoende av omgivningstemperaturen. Värmeproduktionen kan då beräknas genom nutritionella samband.

Värmeproduktionen ges av differensen mellan den omsättbara energin i fodret, ME (metabolizable energy), och energiupplagringen i köttet, ER (energy retention) (Bruce & Clark, 1979).

$$\Phi_{tnz} = ME - ER \quad (11)$$

där:

$\Phi_{tnz} =$  Värmeproduktion vid termoneutral zon (W)

ME = Omsättningsbar energi i foder (W)

ER = Energiupplagring i kött (W)



Energiupplagringen i köttet kan definieras som differensen mellan den omsättbara energin i fodret och den omsättbara energin som används för underhållet multiplicerat med en effektivitetsfaktor.

$$ER = k (ME - ME_m) \quad (12)$$

där:

$ME_m$  = Omsättningsbart energiintag för underhållet (W)

$k$  = Effektivitetsfaktor

Vid kombination av ekvation (11) och (12) ges ekvationen för värmeproduktionen vid TNZ.

$$\Phi_{tnz} = ME_m + (1 - k) (ME - ME_m) \quad (13)$$

Grisars energibehov för underhållet har fastställts vid nutritionsförsök och kan uttryckas som en funktion av vikten för grisar multiplicerat med en konstant (Bruce & Clark 1979).

$$ME_m = 7,41 m_g^{0,66} \quad \text{för } m_g < 20 \text{ kg} \quad (14)$$

### 2.8.2 Värmeavgivning under den kritiska temperaturen

När grisen befinner sig under den kritiska temperaturen har den uttömt sina fysiologiska och beteendemässiga möjligheter till att hålla en konstant minimal värmeproduktion. Under den kritiska temperaturen är värmeavgivningen beroende av omgivningstemperaturen. Vasokonstriktionen är maximal samtidigt som den bundna värmeavgivningen är minimal och grisen har kurat ihop sig så mycket det går. (Bruce & Clark, 1979)

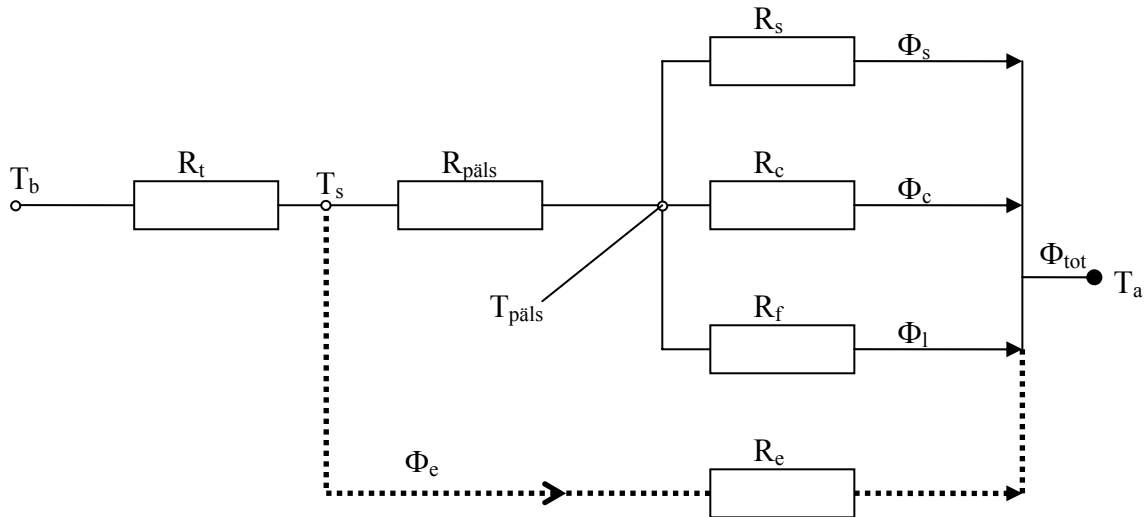
Värmeavgivningen från grisen kan ske i form av konvektion, strålning, ledning och evaporation enligt nedan.

$$\Phi_{uk} = \Phi_c + \Phi_s + \Phi_l + \Phi_e \quad (15)$$

där:

$\Phi_{uk}$  = Värmeavgivning under den kritiska temperaturen (W)

I analogi med elektriska strömkretsar kan värmeflödet från en kropp till omgivningen beskrivas av ett nätverk av värmemotstånd enligt figur 2.



Figur 2. Nätverk av värmemotstånd från en djur kropp till omgivningen (Gustafsson, 1988)

där:

|                |   |
|----------------|---|
| $T_b =$        | Rektaltemperatur (K)                              |
| $T_{päls} =$   | Pälsens temperatur (K)                            |
| $R_{päls} =$   | Pälsens värmemotstånd ( $m^2 \cdot K/W$ )         |
| $R_s =$        | Värmemotstånd vid strålning ( $m^2 \cdot K/W$ )   |
| $R_c =$        | Värmemotstånd vid konvektion ( $m^2 \cdot K/W$ )  |
| $R_f =$        | Värmemotstånd genom golv ( $m^2 \cdot K/W$ )      |
| $R_e =$        | Värmemotstånd vid evaporation ( $m^2 \cdot K/W$ ) |
| $\Phi_{tot} =$ | Total värmeavgivning (W)                          |

All värmeavgivning antas först passera vävnaden med värmemotståndet,  $R_t$ . Från hudens yta sker värmeavgivning genom evaporation. Värmeavgivningen genom konvektion och strålning passerar övergångsmotståndet till luft,  $R_a$ , och avgår därefter till omgivande luft. Värmeavgivning genom ledning passerar genom golvet med värmemotståndet,  $R_f$ , innan det avgår till omgivande luft. Inget värme antas lagras i golvet. (Bruce & Clark, 1979)

Bruce & Clark (1979) behandlar värmeavgivningen genom konvektion och strålning gemensamt och benämns värmeavgivning via luftlagret.

$$\Phi_c + \Phi_s = \Phi_a \quad (16)$$

där:

|            |                                   |
|------------|-----------------------------------|
| $\Phi_a =$ | Värmeavgivning via luftlagret (W) |
|------------|-----------------------------------|

Genom ett termodynamiskt resonemang beskriver Bruce & Clark (1979) värmeavgivningen via luftlagret enligt:

$$\Phi_a = \frac{A_a (T_s - T_a)}{R_a} \quad (17)$$

där:

$$\begin{aligned} A_a &= \text{Area av gris i kontakt med luft (m}^2\text{)} \\ R_a &= \text{Övergångsmotstånd till luft (m}^2 \cdot \text{K/W)} \end{aligned}$$

Både den evaporativa värmeavgivningen och värmeavgivningen via luftlagret passerar vävnaden vilket ger:

$$\Phi_a + \Phi_e = \frac{A_a (T_b - T_s)}{R_t} \quad (18)$$

Vid kombination av ekvation (17) och (18) kan  $T_s$  elimineras och följande uttryck för värmeavgivning via luftlagret kan ställas upp:

$$\Phi_a = \frac{A_a (T_b - T_a) - \Phi_e \cdot R_t}{R_t + R_a} \quad (19)$$

Om all värmeavgivning genom golvet antas strömma ut till luften kan följande samband för ledning ställas upp:

$$\Phi_l = \frac{A_a (T_b - T_a)}{R_t + R_f} \quad (20)$$

Grisens totala kroppsarea är summan av delareorna.

$$A = A_a + A_f + A_c \quad (21)$$

där:

$$A_f = \text{Area av gris i kontakt med golv (m}^2\text{)}$$

### 2.8.3 Undre kritiska temperaturen

Då värmeproduktionen vid den termoneutrala zonen är lika stor som värmeavgivningen vid den undre kritiska temperaturen,  $\Phi_{uk}$  ställer Bruce & Clark (1979) upp ett uttryck för  $\Phi_{uk}$  genom att kombinera ekvationerna (15), (19), (20) och (21). Detta  $\Phi_{uk}$  sätts lika med  $\Phi_{tnz}$  (ekvation 13) och  $T_a$  kan där lösas ut ( $T_a = T_{cr}$ ), och ett uttryck för den undre kritiska temperaturen ges av:

$$T_{cr} = T_b - \frac{\Phi_{tnz} \cdot (R_a + R_t) - \Phi_e \cdot R_a}{A \left[ 1 + \frac{A_f}{A} \cdot \frac{R_a - R_f}{R_t + R_f} - \frac{A_c}{A} \right]} \quad (22)$$

där:

$T_{cr} =$  Undre kritiska temperaturen (K)

Gustafsson (1988) tog experimentiellt fram värden för värmemotstånd i olika golvkonstruktioner med olika ytmaterial och halm som strömaterial. En referensyta motsvarande  $0,47 \text{ m}^2$  har använts som underlag för dessa resultat vilket motsvarar en referensvikt om 130 kg för en gris. Med ledning av dessa värden för värmemotstånd i golv kan LCT presenteras för olika grisvikter och olika delar av grisarnas underhållsbehov enligt tabell 1. De två U-värden som presenteras är dels för ett betonggolv,  $16,7 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ , och dels för ett betonggolv med halm som strö,  $3,0 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ .

Tabell 1. LCT ( $^{\circ}\text{C}$ ) vid olika delar av underhållsbehovet, olika grisvikter samt vid olika U-värden framtagna efter Gustafsson (1988).

| U-värde<br>$\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$ | Vikt<br>kg | Del av $ME_m$ |      |      |
|--|------------|---------------|------|------|
|  |            | 0,5           | 0,75 | 1    |
| 16,7                                     | 8          | 34,4          | 31,0 | 27,2 |
|  | 9          | 34,3          | 30,9 | 27,0 |
|  | 10         | 34,2          | 30,7 | 26,8 |
| 3,0                                      | 8          | 33,2          | 29,0 | 24,3 |
|  | 9          | 33,1          | 28,9 | 24,1 |
|  | 10         | 33,1          | 28,7 | 23,9 |

## 2.9 Påverkan av olika ytmaterial i hyddan

Joyce och Blaxter (1964) visade att den totala värmeavgivningen från får i ett rum med låg temperatur kan minskas om de placeras i ett rum med blanka, reflekterande väggar istället för mörka väggar.

Med ledning av detta antog Holmes och McLean (1975) att om man använder blank aluminiumfolie som beklädnadsmaterial på innerväggar i svinstallar skulle detta påverka grisarnas värmebalans. De gjorde ett försök med grisar indelade i fyra grupper om tre grisar i varje grupp. Medelvikten var 10 kg och omgivningstemperaturerna var  $20^{\circ}\text{C}$  resp.  $10^{\circ}\text{C}$ . De jämförde värmeavgivningen i ett boxliknande rum klätt med aluminiumfolie på väggarna med ett som hade väggarna målade med mörk färg.

Värmeavgivningen bestämdes genom indirekt kalorimetri, vilket innebär att en respirationskammare används där värmeavgivningen bestäms utifrån den förbrukade syremängden och den producerade mängden koldioxid. Risken för fel föreligger i dessa mätningar då respirationskammarens dimensioner ofta begränsar djurens rörelseförmåga och därigenom får man en minskad värmeavgivning till följd av djurens minskade energiåtgång till rörelser. Utöver detta visar Sällvik (1999) på att om respirationskammaren är liten måste luften bytas ut mer frekvent. Detta medför att lufthastigheten blir hög och att djuren avger mer värme än under normala förhållanden.

Medelvärden för den totala värmeavgivningen, levande vikt och lufttemperatur kan ses i tabell 2

Tabell 2. Medelvärden för värmeavgivning, levande vikt och lufttemperatur (Holmes & McLean, 1975)

|                         | Nominell lufttemperatur och väggarnas utseende |        |       |        |
|-------------------------|--|--------|-------|--------|
|                         | 20° C  |        | 10° C |        |
|                         | Mörka  | Blanka | Mörka | Blanka |
| Värmeavgivning (W/gris) | 119  | 118    | 158   | 158    |
| Levande vikt (kg)       | 10,1   | 10,2   | 11,1  | 11,0   |
| Lufttemperatur (°C)     | 21,1   | 21,1   | 11,1  | 9,0    |

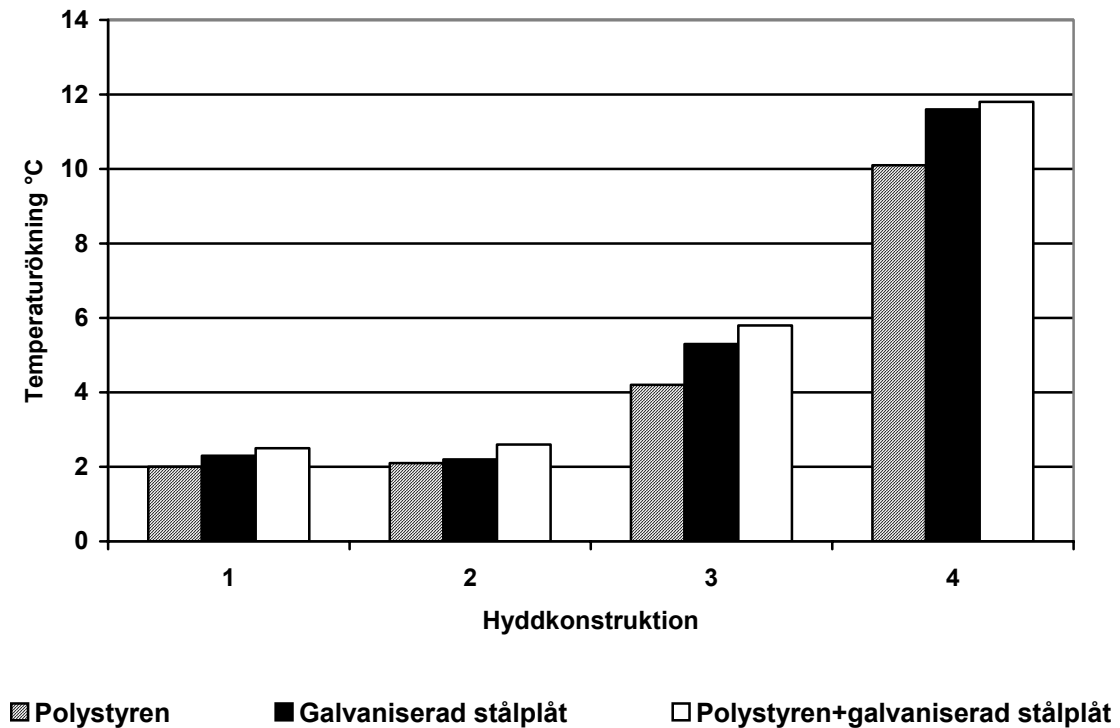
Vid 20° C var skillnaden i värmeavgivning mellan de olika rummen liten. Vid 10° C var den totala värmeavgivningen lika trots att temperaturen var 2,1°C lägre i det blanka rummet. Att värmeavgivningen var lika vid 9°C och vid 11,1°C visar därigenom att aluminiumfolien reducerar strålningsförlusterna och därmed den totala värmeavgivningen. Att sådan effekt inte yttrar sig vid 20°C beror troligen på att grisarna där befinner sig i den termoneutrala zonen (TNZ) (Holmes & McLean, 1975).

En undersökning av olika hyddkonstruktioner har visat effekter av ytmaterialets reflekterande egenskaper (Houszka, 2001). Undersökningen gjordes med fyra olika hyddkonstruktioner.

1. Tre läbildande väggar och frontgardin av plastremсор, utan tak.
2. Hydda med tre väggar med öppen front, med tak.
3. Hydda med tre väggar och tak med en frontskiva täckande 50 % av öppningsytan (öppen nederdel).
4. Hydda med tre väggar och tak och frontgardin av plastremсор.

Temperaturerna mättes med svarta globtemperaturmätare. Denna metod mäter en så kallad operativ temperatur. Den tar hänsyn både till den omgivande temperaturen och den temperaturökning en kropp påverkas av genom strålningsvärme (Houszka, 2001).

Undersökningen var utförd i ett dragfritt rum med en omgivningstemperatur på 21°C. Hyddans golvmått var 1.0 m x 0,6 m. I de fall tak fanns på hyddan var det placerat 0,6 m ovan golv. I fall 1 var även frontgardinens övre kant placerad på denna höjd. Tilläggsvärme i form av en golvvärmepanel med en effekt av 140W fanns också i hyddan.



Figur 3. Medeltemperaturökning 0,10 m ovan golv (Houszka, 2001).

Ur figur 3 kan man utläsa att hyddkonstruktion 4 gav den högsta temperaturdifferensen. Man ser också att det isolerande materialet polystyren inte ger högre operativ temperatur än en oisolerad galvaniserad stålplåt.

Slutsatsen Houszka (2001) drar ur denna undersökning är att man inte bara ska beakta materialens isolerande egenskaper utan också ta hänsyn till dess reflekterande förmåga.

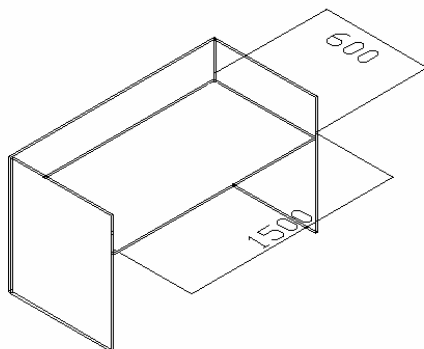
## 3 MATERIAL OCH METODER

### 3.1 Värmehyddda

En hydda tillverkades för att kunna mäta temperaturer vid olika givna förutsättningar. Hyddan försågs med en värmekälla på 200 W som ungefärligen motsvarar den värme en kull om tio avväjningsgrisar avger. Hyddan byggdes av 12 mm tjock plywood längs fyra sidor, höger, vänster, bakstycke och tak. Framsidan bestod av 2 mm tjocka plastremсор 200 mm breda, typ köldridåplast, nedhängande från framsidans ovankant. Plastremсорna satt tätt ihop och bildade en frontvägg. Vid försök med rök visade det sig att hyddans plywoodkonstruktion var tät medan det läckte ut något lite rök i de små springor och otätheter som uppkom vid plastremсорna i frontväggen.

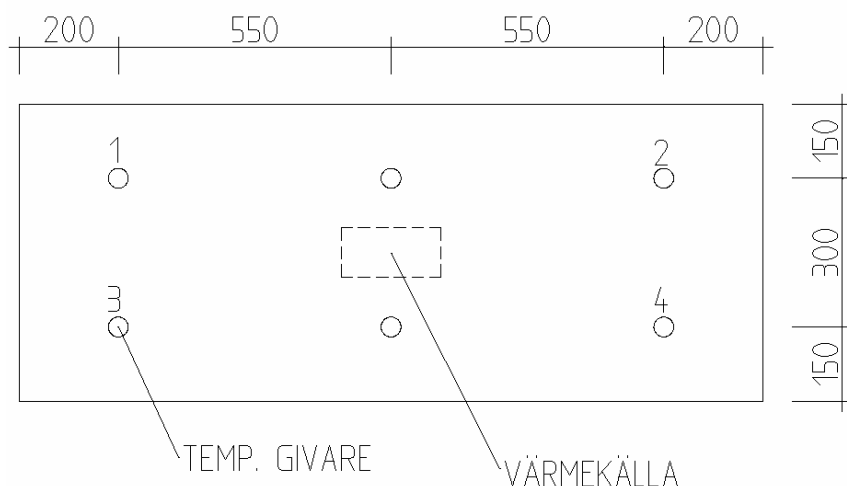
Hyddtaket konstruerades så att takhöjden kunde varieras från 400 mm till 700 mm ovan golv. Takhöjder omkring 700 mm är idag en vanlig höjd hos de tillverkare av dessa slags värmeåtgärder för avväjningsgrisar. Takhöjder under 400 mm ansågs inte vara relevant för avväjningsgrisar då det börjar bli problem för grisarna att komma in under taket.

Mätningar gjordes även då hyddan var isolerad med 145 mm mineralull runt tak och väggar. Hyddans mått visas i figur. 4.



Figur. 4. Prototypphyddans djup och bredd (mm). Takhöjden är justerbar från 400 mm till 700 mm.

I hyddan var 6 st operativa temperaturgivare utplacerade 100 mm ovan golv enligt fig 5. Givarnas noggrannhet var  $\pm 1,0$  °C. De givare som satt i den mittersta raden var placerade i direkt närhet till värmekällan och gav således alltid en högre temperatur än de övriga och har inte inräknats i medeltemperaturen och redovisas heller inte i tabell 3.

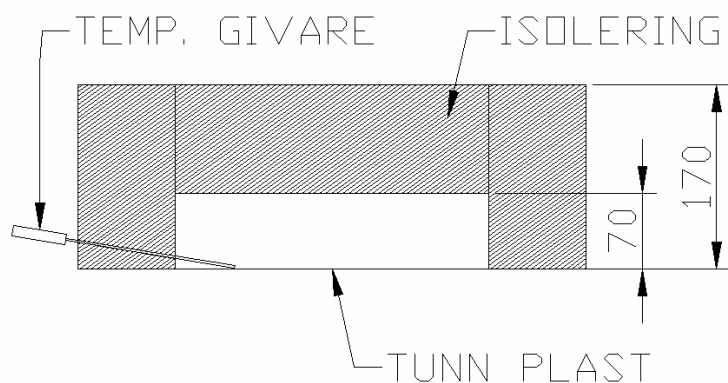


Figur 5. Operativa temperaturgivares placering i prototypydda (mm).

### 3.2 Värmeförluster genom golv med olika strömängder.

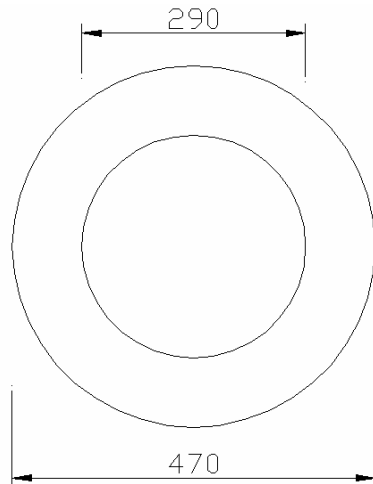
En prototyp för att kunna mäta värmeförluster genom olika golvkonstruktioner konstruerades. Denna mätapparat byggdes enligt principen för en termos med en värmeavgivande yta i botten som skall avge värme till golvet. Ytan som avger värme i botten motsvarar den mot golvet exponerade ytan hos en liggande avvänjningsgris om ca 7 kg,  $0,066 \text{ m}^2$  (Bruce, 1979). Denna yta försågs med en tunn plast för att minimera värmemotståndet i överföringsmaterialet mellan golvet och det heta vattnet och dessutom bli följsamt mot golvytan likt huden på en gris. En stavtermometer stacks genom ett hål i isoleringen ned till utrymmet för vattnet. Termometern som användes hade en noggrannhet om  $\pm 0,1 \text{ }^\circ\text{C}$ . Detta ger en möjlighet att med hjälp av hett vatten studera temperaturavklingningsprocessen och med hjälp av den kunna uppskatta grisars värmeförluster vid olika golvkonstruktioner samt vid olika strömängder. För att kallibrera värmekärlet gjordes mätningar mot ett i princip oändligt isolerat underlag. Detta underlag bestod av 0,7 m frigolit.

Apparaturens mått visas i figur 6 och figur 7.



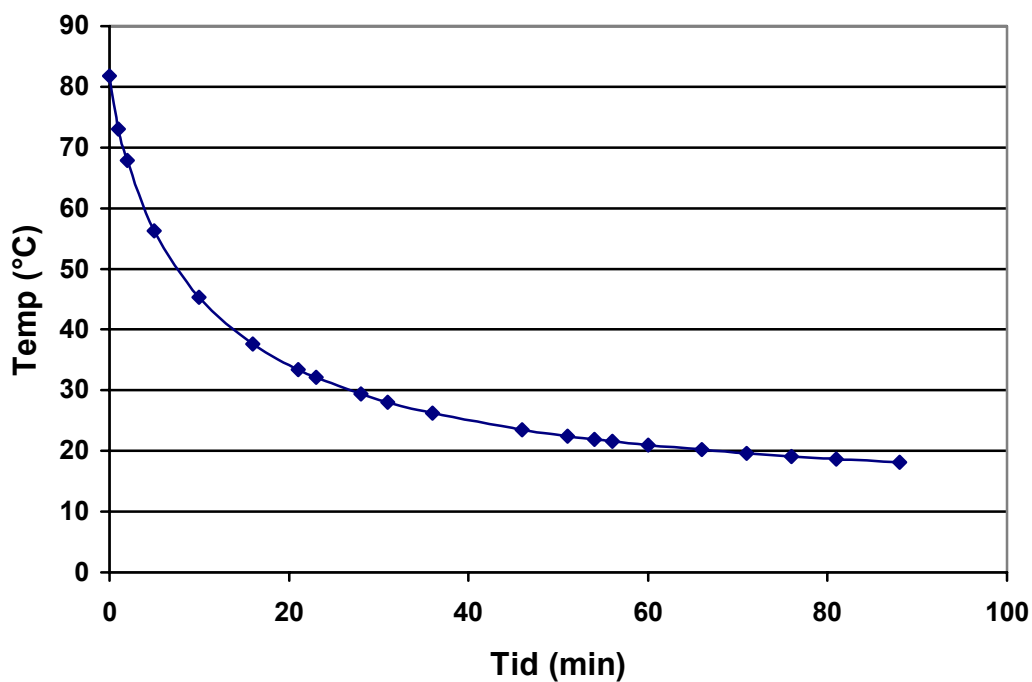
Figur 6. Sektion över värmekärl för att mäta värmeförluster genom golv (mm).





Figur 7. Planskiss över värmekärl för att mäta värmeförluster genom golv (mm).

Vid kalibreringen hölls hett vatten i värmekärl och vattnets massa registrerades samt temperaturen vid  $t=0$ . Mätstart gav  $t=0$ . Därefter registrerades temperaturen vid olika tidpunkter och därav kan man beskriva temperaturen  $T$  som en funktion av tiden  $t$ . Härav kan en avklingningsprocess avläsas likt figur 8.

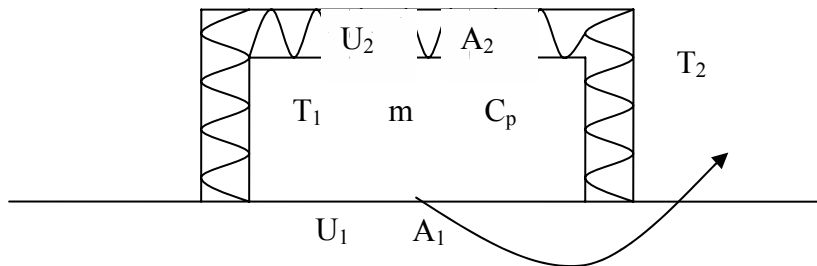


Figur 8. Temperaturavklingningsprocess för vatten i värmekärl

Vid logaritmering (naturlig logaritmering) av denna funktion kan man utläsa kurvan som en rät linje enligt nedanstående härledning.

### 3.2.1. Härledning

Bruce & Clark (1979) antog att den värme som avgår från en liggande gris följer golvet cirkulärt (nedåt/utåt) och avgår sedan som värme mot lufttemperaturen i stallet. Med ledning av detta resonemang kan följande samband ställas upp:



Figur 9. Principskiss för värmekärl då värmen antas leda mot lufttemperatur.

Förutsättningar:

|         |   |
|---------|---|
| $T_1 =$ | Vattentemp i värmekärl (K)                                    |
| $T_2 =$ | Lufttemperatur (K)  |
| $m =$   | Vattnets massa (kg)   |
| $C_p =$ | Specifik värmekapacitet (J/kg·K)                              |
| $U_1 =$ | Golvets värmegenomgångskoefficient (W/m <sup>2</sup> ·K)      |
| $U_2 =$ | Värmekärlets värmegenomgångskoefficient (W/m <sup>2</sup> ·K) |
| $UA =$  | Total värmegenomgång (W/K)                                    |
| $A_1 =$ | Golvets area under värmekärlet (m <sup>2</sup> )              |
| $A_2 =$ | Värmekärlets inre area (m <sup>2</sup> )                      |
| $t =$   | Tid (s)   |

Följande värmebalans gäller:

$$UA = U_1 A_1 + U_2 A_2 \quad (23)$$

$$-mC_p \cdot \frac{dT_1}{dt} = UA \cdot (T_1 - T_2) \quad (24)$$

Detta är en första gradens differentialekvation som har lösningen:

$$\frac{dT_1}{dt} + \frac{UA}{mC_p} \cdot T_1 = \frac{UA}{mC_p} \cdot T_2 \quad (25)$$

$$T_1(t) = T_1s(t) + D \cdot e^{-bt} \quad (26)$$

där  $T_1s(t)$  är stationär lösning

$$T_1s(t) = F(t) \cdot e^{-bt} \quad (27)$$

$$\text{där } \frac{UA}{mC_p} = b \quad (28)$$

$$\text{och } \frac{UA}{mC_p} \cdot T_2 = f \quad (29)$$

$$F'(t) = f \cdot e^{-bt} \quad (30)$$

$$F = \frac{f}{b} \cdot e^{bt} \quad (31)$$

$$T_1 s(t) = F(t) \cdot e^{-bt} = \frac{f}{b} \cdot e^{bt} \cdot e^{-bt} = \frac{f}{b} = T_2 \quad (32)$$

$$T_1(t) = T_1 s(t) + D \cdot e^{-bt} = T_2 + D \cdot e^{-bt} \quad (33)$$

$$T_1(0) = T_2 + D \quad (34)$$

$$D = T_1(0) - T_2 \quad (35)$$

$$T_1(t) = T_2 + (T_1(0) - T_2) \cdot e^{-bt} \quad (36)$$

$$e^{-bt} = \frac{T_1(t) - T_2}{T_1(0) - T_2} \quad (37)$$

$$b = -\frac{1}{t} \cdot \ln \left( \frac{T_1(t) - T_2}{T_1(0) - T_2} \right) = \frac{UA}{mC_p} \quad (38)$$

$$UA = U_1 A_1 + U_2 A_2 \quad (39)$$

$$U_1 = \frac{UA - U_2 A_2}{A_1} \quad (40)$$

$$UA = U_1 A_1 + U_2 A_2 = -\frac{mC_p}{t} \cdot \ln \left( \frac{T_1(t) - T_2}{T_1(0) - T_2} \right) \quad (41)$$

$$U_1 = \frac{UA - U_2 A_2}{A_1} = -\frac{1}{A_1} \cdot \frac{mC_p}{t} \cdot \ln \left( \frac{T_1(t) - T_2}{T_1(0) - T_2} \right) - \frac{U_2 A_2}{A_1} \quad (42)$$

$$\frac{1}{A_1} \cdot \frac{mC_p}{t} \cdot \ln\left(\frac{T_1(t) - T_2}{T_1(0) - T_2}\right) = -\left(\frac{U_1 - U_2 A_2}{A_1}\right) \quad (43)$$

$$\ln\left(\frac{T_1(t) - T_2}{T_1(0) - T_2}\right) = -\left(\frac{U_1 - U_2 A_2}{A_1}\right) \cdot A_1 \cdot \frac{1}{mC_p} \cdot t \quad (44)$$

Formeln kan utnyttjas för linjär regression på formeln  $y = a + B \cdot t$

$$\text{där } \ln\left(\frac{T_1(t) - T_2}{T_1(0) - T_2}\right) = y \quad (45)$$

$$\text{och } -\left(\frac{U_1 - U_2 A_2}{A_1}\right) \cdot A_1 \cdot \frac{1}{mC_p} = B \quad (46)$$

B kan nu lösas med linjär regression vilket gör att  $U_1$  kan lösas ut enligt nedan:

$$U_1 = -B \cdot \frac{mC_p}{A_1} - \frac{U_2 A_2}{A_1} \quad (47)$$

där  $U_2$  bestäms empiriskt med hjälp av oändligt isolerat golv.

### 3.3 Klimatmätningar

Klimatmätningar har genomförts i befintliga stallar. Här beskrivs 6 st mätningar för att åskådliggöra befintliga lösningar som idag finns för att förbättra den termiska komforten för avväjningsgrisar. I dessa 6 fall är åtgärden olika slags hyddor med syftet att öka temperaturen för grisarna.

I följande undersökningar beskrivs hyddornas konstruktion, mått, placering i avdelningen, temperaturökning i hyddan, luft rörelser i hyddan, grisarnas beteende med avseende på liggplacering.

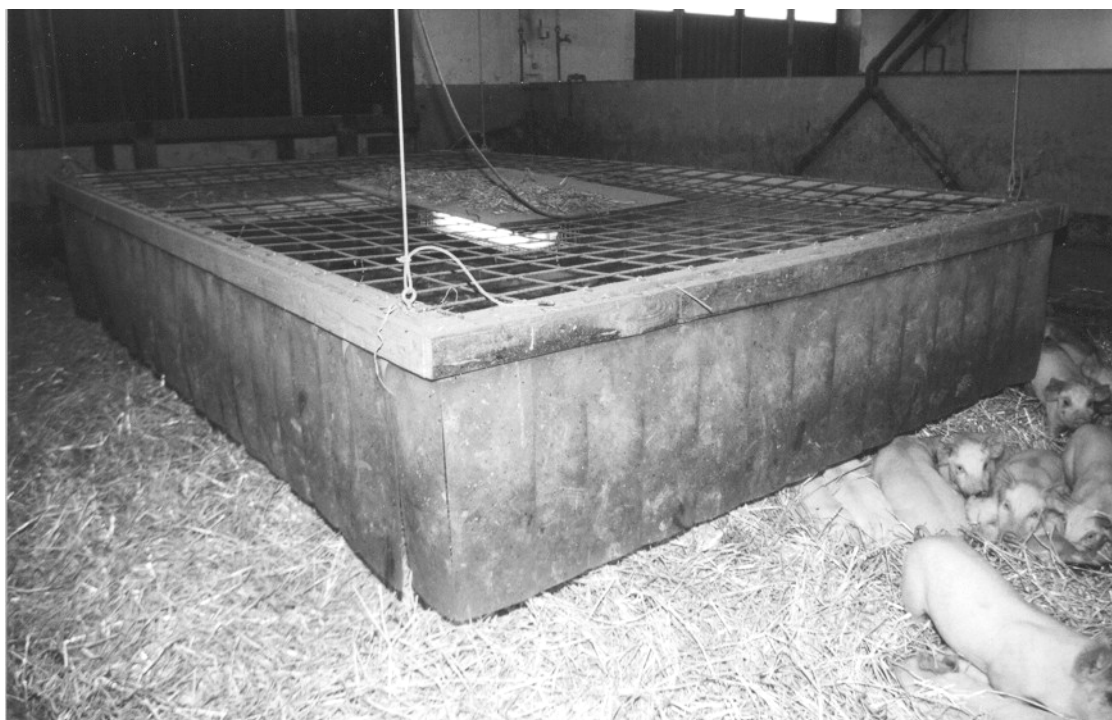
## 4 KLIMATMÄTNINGAR I BEFINTLIGA STALLAR

### 4.1 Stall 1

Stallet är isolerat och avvänjningsgrisarna går på djupströbädd. Större delen av djupströbädden täcks av en s.k. värmehyddda.

Beskrivning av hydda:

Hyddan är upp- och nedhissningsbar genom en wirekonstruktion i taket och består av en träram  $3,50 \cdot 2,40$  m. Runt om ramens 4 sidor hänger 0,50 m långa och 0,20 m breda plastremsor ned. Dessa ligger något om lott. Hyddans tak består av en armeringsmatta där djurskötaren lägger ett ca 0,10 m tjockt lager halm ovanpå. I kanterna ligger inte halmen ända ut och taket sluter inte tätt. I hyddtakets är en lysrörsarmatur fäst.



Figur 10. Upp och nedhissningsbar hydda i stall (takets är vanligtvis täckt med ca 0,10 m halm)

Luft rörelser i hyddan:

Den ena kortsidan av hyddan står ca 2 m från en port. Luft registrerades komma från läckage i porten och tränger in i hyddan under plastremsorna vid den kortsidan. I övriga delar av hyddan sågs luften stiga upp ur springorna längs kanterna i taket.

Iakttagelser hos grisarna:

Utanför hyddan låg 2 st. grupper om ca 5-10 st. grisar vardera. De var formerade i "hög", d.v.s. de låg på varandra i stor utsträckning. Inne i hyddan fanns ca 3 st. grupper om ca 5-10 st. grisar vardera. Grisarna inne i hyddan låg tätt intill varandra men inte i hög.

Övriga noteringar:

Marginell temperaturhöjning i hyddan. Detta beror på att all producerad värme försvinner upp i otätheterna i hyddtaket.

Eftersom ströbädden inte hålls jämn bildas springor på vissa ställen under plastremarna.

Dessa springor förser hyddan med kall luft. Plastremarna som sitter ca 10-20 mm om lott gör att sidorna är relativt täta mot luftgenomströmning.

Konstruktionen med höj- och sänkbar hydda är praktisk då tjockleken på bädden ändras efter hand.

Hyddan gav en temperaturhöjning om 0,5 °C jämfört med stalltemperaturen.

## 4.2 Stall 2

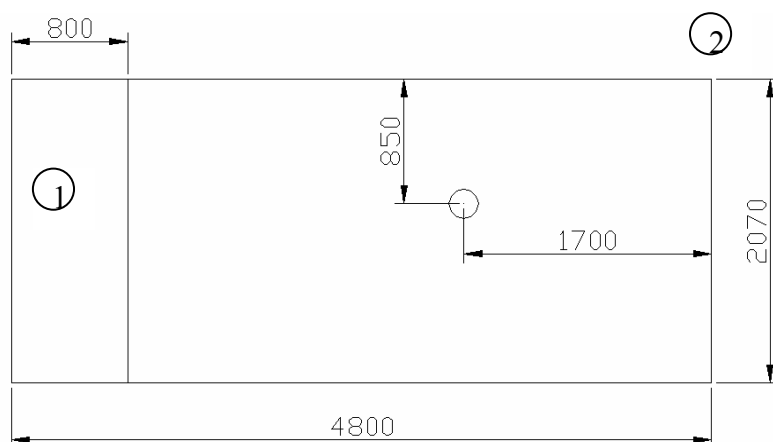
Beskrivning av stall:

Isolerat lösdriiftsstall för avvänjningsgrisar där grisarna går på djupströbädd. Hydda finns i boxen och strö tilldelas endast i hyddan första veckorna. Resten av boxen ströas efter hand som grisarna gödslar på betonggolvet. Ventilationen bestod av en tilluftsduk, ca 0,18 m bred, längs hela avdelningen med centrum över fodertråget.

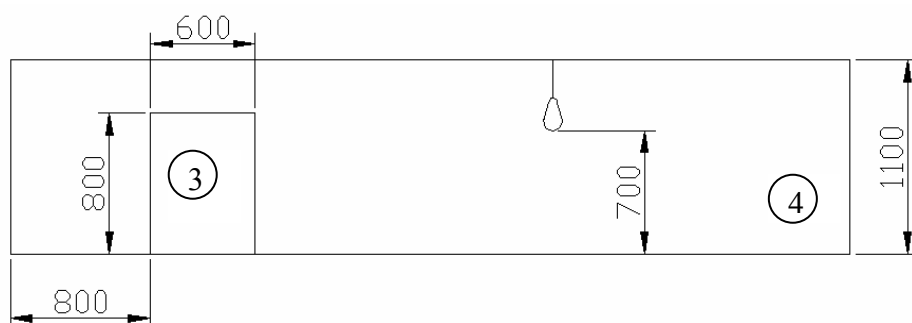
Beskrivning av värmehyddan:

Placerad i ena hörnet av lösdriiftsboxen med hyddans långsida längs boxens långsida.

Väggarna består av 12 mm tjocka masonitskivor. Taket består av nätmatta, typ armeringsnät, täckt med 0,20 – 0,50 m halm. I vänstra kanten saknas tak över 0,80 m av hyddan, figur 11 (1). I ena hörnet av hyddan, figur 11 (2) fanns en springa från golv till tak ca 60 - 80 mm bred.



Figur 11. Planskiss över hydda (mm):



Figur 12. Sektionskiss över hydda (mm)



Figur 13. Hyddkonstruktion i stall 2

#### Luftrörelser i hyddan:

Luften observerades komma in genom ingången, figur 12 (3), i hyddan. Där delas luftströmmen i två riktningar. Den ena fortsätter upp genom den helt öppna delen av taket och den andra fortsätter genom hyddan, förbi grisarna och ut genom den springa, figur 11 (2), som fanns i ena hörnet av hyddan. Den horisontella lufthastigheten genom hyddan var vid mättilfället 0,2 – 0,3 m/s.

#### Övriga noteringar:

Hyddan strös underst med ett lager kutterspån och sedan ett lager halm ovanpå detta. Övriga boxen strös till en början inte alls. Detta leder till att grisarna lockas in i hyddan ganska omgående efter de flyttats dit. Vartefter grisarna gödslar i övriga boxytan strös denna.

Vid ankomst för mätningar noterades inga grisar utanför värmehyddan. Grisarna var placerade i ”hög” längst in i hyddan, figur 12 (4), ända fram till i höjd med värmelampan.

Marginella ökning i lufttemperatur uppmättes i hyddan jämfört med övriga boxen. Den ökning som ändå fanns kan förklaras av att hyddan var någorlunda tät vid och närmast omkring värmelampan. Läckage i kanten av hyddan, figur 11 (2), och den öppna delen av taket, figur 11 (1), gör att den värme som produceras inne i hyddan försvinner ganska omgående ut i övriga boxen.

Tabell 3: Temperaturhöjning,  $\Delta T$ , ( $^{\circ}\text{C}$ ) i hyddan jämfört med stalltemperatur 0,1 m ovan golv, på olika avstånd (m) från värmelampa.

|             | 0   | 0,5 | 1   | 1,5 | 2   |
|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| Utan grisar | 2,5 | 2,3 | 1,9 | 1,8 | 1,5 |
| Med grisar  | 4,2 | 3,6 | 2,9 | 2,8 | 1,5 |

### 4.3 Stall 3

#### Beskrivning av stall

Varmt, isolerat, konventionella tillväxtboxar av typ ”Turbomatic”. Golvvärme finns men användes ej vid mättillfället. I boxen fanns 18 st grisar, 6 dagar efter avvänjning. Ventilation var s.k. konventionell undertrycksventilation med tilluftsdon placerade över inspektionsgång.

#### Beskrivning av hydda:

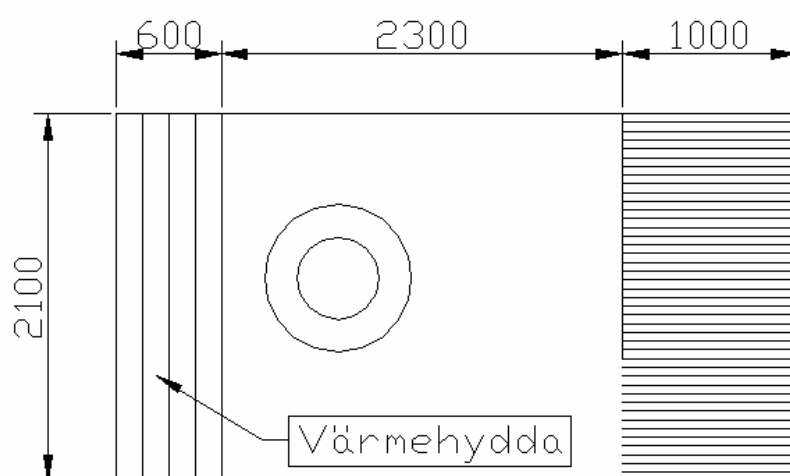
Längs kortsidan i tillväxtboxen är värmehyddan byggd enl. plan- och sektionssritningarna. Sidan in mot boxen hängde plastremsor (”stripes”), ca 0,15 – 0,20 m breda, från hyddtak ned till golv. Dessa plastremsor hängde inte om lott och lämnade några centimeter stora springor i kanterna mot boxens långsida.

Hyddornas tak var gjort av ett antal träreglar. Mellan dessa fanns springor om 5 – 10 mm där luft kunde passera. För att få en uppfattning om springornas inverkan på klimatet i hyddan tätades springorna i en enskild hydda. I en annan hydda med lika många grisar gjordes inte detta. Dessa båda temperaturer visas i tabell 4.





Figur 14. Tillväxtbox med värmehydda.



Figur 15. Planskiss över boxen med värmehydda (mm).



Figur 16. Sektionsskiss över box med värmehydda (mm).

Luft rörelser i box och hydda:

I boxen fanns ej mätbara lufthastigheter. Luft rörelser registrerades vid den upphöjda spalten i riktning från gödselrännan in i boxen.

I hyddan då grisar vistades där sågs luften stiga upp genom springorna i taket och genom de springor som fanns i kanten av värmehyddan längs boxens långsidor.

Övriga noteringar:

Golvvärmens var inte på i stallet vid mättillfället eftersom djurskötaren tyckte att det nu ”var så varmt ute att det inte behövs”.

Tabell 4. Temperaturhöjning,  $\Delta T$ , ( $^{\circ}\text{C}$ ) i hyddan jämfört med stalltemperatur då grisarna vistas där. Mätt i taket på hyddan och 0,10 m ovan liggande grisar och vid täckt tak samt tak med 5 – 10 mm springor.

|                               | Tätt tak                | Tak med springor       |
|-------------------------------|-------------------------|------------------------|
| $\Delta T$ takhöjd            | 10,0 $^{\circ}\text{C}$ | 3,1 $^{\circ}\text{C}$ |
| $\Delta T$ 0,10 m ovan grisar | 5,5 $^{\circ}\text{C}$  | 3,5 $^{\circ}\text{C}$ |

#### 4.4 Stall 4

Beskrivning av stall:

Oisolerat lösdriftsstall med naturlig ventilation. Värmehyddan med två värmelampor. Grisar 2 veckor efter avvänjning.

Lösdriften är byggd i en logbyggnad i en äldre ladugård. Luft kommer in genom ytterpanelen i stallet och stiger sedan upp i taket. Springorna i panelen var mellan 5-10 mm breda.

Beskrivning av hydda:

Hyddan består av ett tätt tak gjort av spontade brädor. Hyddan är placerad i ett hörn av boxen och de två sidor som inte täcks av boxväggar är täckta med nedhängande plastremsor. Dessa plastremsor är 0,30 m breda och 0,85 m långa. Eftersom hyddans höjd över ströbädden var 0,70 m låg dessa plastremsor, i ändarna, på ströbädden och gjorde att de inte fick hänga fritt och sluta tätt mot varandra.

Hyddan är uppfällbar mot vägg och ledad med gångjärn mot väggen. I den ledade kanten sågs en liten springa om 2-3 mm.

Två värmelampor finns i hyddan (250W och 125W).



Figur 17. Uppfällbar värmehyddda i stall 4



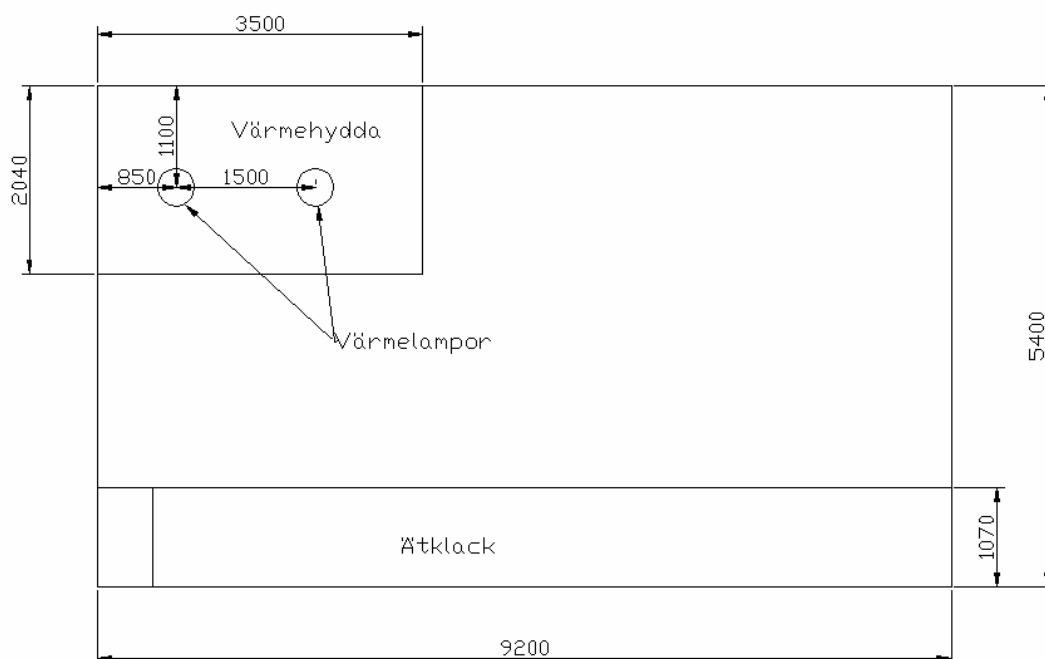
Figur 18. Värmehyddda i uppfällbart läge.

Mått hydda:

Höjd: 0,70 m

Bredd: 2,04 m

Längd: 3,50 m



Figur 19. Planskiss över boxen. (mm)

#### Luft rörelser i hyddan:

Mätbara lufthastigheter kan ej registreras i hyddan. Med hjälp av rök kan man se att luften stiger upp i taket och försvinner ut ur hyddan dels genom springan mot boxväggen vid den ledade kanten och dels genom de springor som bildas mellan plastremsorna.

#### Övriga noteringar:

Då grisarna efter ett tag lade sig till ro låg de utspritt, var för sig, inne i hyddan. Inga grisar sågs ligga utanför hyddan.

Tabell 5. Temperaturhöjning,  $\Delta T$ , ( $^{\circ}\text{C}$ ) i hyddan jämfört med stalltemperatur

|            | 0,7 m ovan golv        | 0,1 m ovan golv        |
|------------|------------------------|------------------------|
| $\Delta T$ | 7,0 $^{\circ}\text{C}$ | 6,0 $^{\circ}\text{C}$ |

## 4.5 Stall 5

#### Beskrivning av stall:

Oisolerat lösdriktstall i maskinhall. Värmehydda i hörn av box. Storbox, 180 grisar. Naturlig ventilation. Luftintag genom ytterpanelens bräddor. Dessa springor är ca 5-10 mm breda. Större öppningar har gjorts högt upp på gavelspetsen av byggnaden.

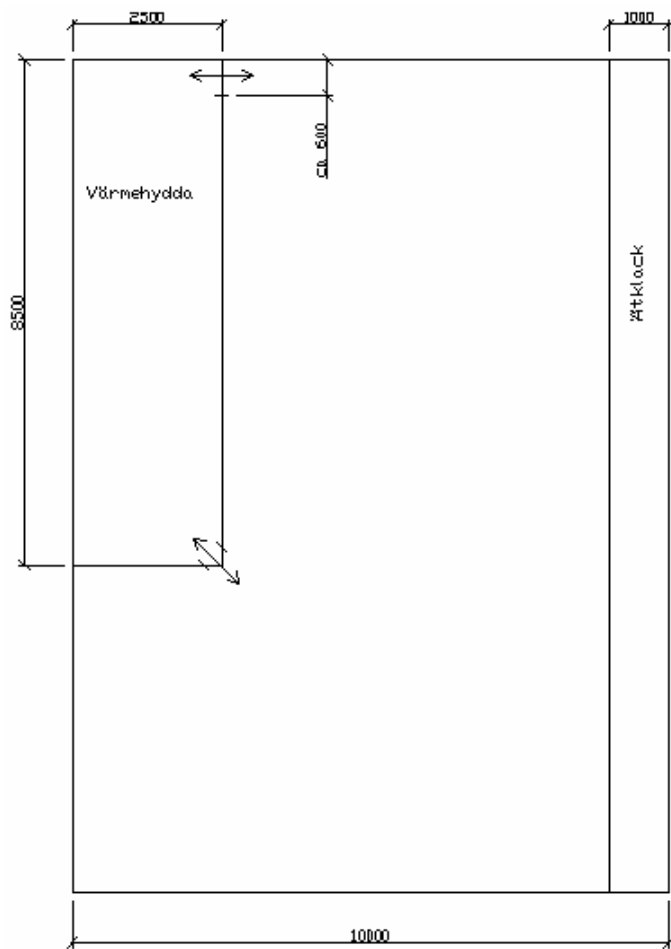
Beskrivning av box:

Storbox med djupströbädd. Två boxar är placerade längs ena kortsidan i en maskinhall. Mellan dessa finns en inspektions- och utfodringsgång som bildar boxens ena långsida. Längs denna gång finns foderautomater och vattennipplar placerade. En upphöjd ätklack gjord av träplankor finns också längs denna kant. Uppsamling/bortledning av spillvatten från vattennipplarna finns ej.

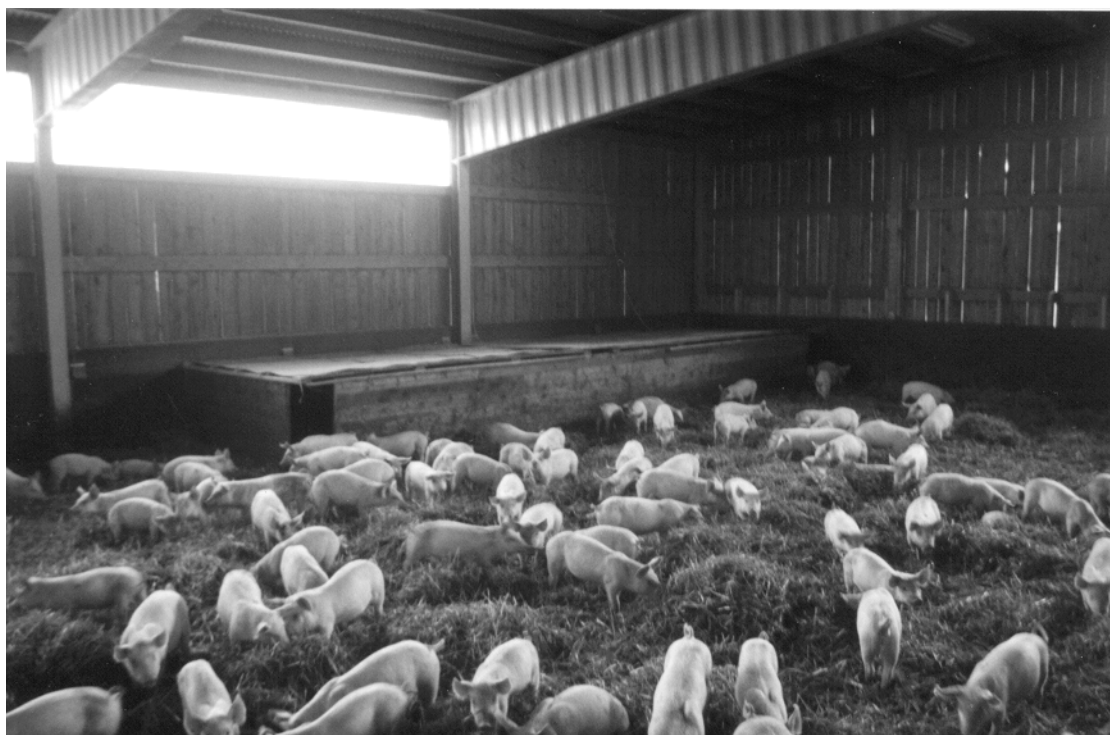
Vid insättning av grisar ströas enbart värmehyddan och inte övriga boxytan. Detta för att locka in grisarna i värmehyddan så fort som möjligt.

Bredd: 10 m

Längd: 14 m



Figur 20. Planskiss över storbox med värmehyddan (mm)



Figur 21. Värmehydda i storbox med djupströbädd.

#### Beskrivning av hydda:

Hyddan är placerad i ena hörnet av storboxen. Två in- och utgångar, ca 0,6 m breda, placerade i ytterkanterna av hyddans långkant ut mot storboxen (se fig 22). Dessa in- och utgångar sträcker sig ända upp till hyddtaket. Väggar gjorda av spontade brädor och taket är gjort av träfiberskivor uppburna av en träregelram. Taket är ledat mot vägg och kan lyftas upp mot väggen. Inspektionslucka finns mitt i taket.

En ca 25 mm springa finns längs hela överkanten av frontväggen. Springor om några tiotal mm finns även längs storboxens väggar mot hyddtaket.

Bredd: 2,50 m

Längd: 8,50 m

Höjd: 0,85 m

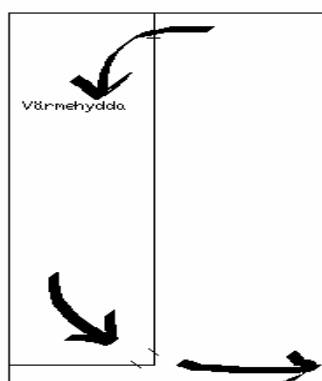
Tabell 6. Temperaturhöjningen,  $\Delta T$ , ( $^{\circ}\text{C}$ ) i hyddan jämfört med stalltemperatur

|            | 0,85 m ovan golv       | 0,1 m ovan golv        |
|------------|------------------------|------------------------|
| $\Delta T$ | 5,0 $^{\circ}\text{C}$ | 3,5 $^{\circ}\text{C}$ |

#### Luftrörelser i hydda:

Med hjälp av rök registrerades luften komma in från ena ingången och ut genom den andra (se figur 22). Vid den öppningen där luften sågs komma in i hyddan mättes lufthastigheten upp till 0,5-0,7 m/s. Inne i hyddan är luftrörelserna något turbulenta i horisontell riktning. Det bildas ett slags tvärdrag inne i hyddan.

I vertikal riktning sågs luften stiga upp längs otätheter i hyddans takkanter.



Figur 22. Horisontella luftrörelser i hyddan

Egna reflektioner:

Djurskötaren nämnde att dödligheten var betydligt större under senaste vintern än senaste sommaren.

#### 4.6 Stall 6

Beskrivning av stall:

Isolerat stall, zerogrisuppfödning. Mekanisk ventilation. Tilluftstak och två fläkttrummor i varje avdelning. Fläkttrummorna var placerade över spalten. Tilluftstaket gick inte ända ut till yttervägg utan slutade över halva den sista boxens bredd. Ovanför mittgången i avdelningen i kanten mot yttervägg hade konventionella riktade tilluftsdon monterats för att tillgodose de två yttersta boxarna med luft. Dessa var vid besöksstillfället helt stängda.

Strömängden var väldigt sparsam i stallet eftersom man hade vakuumutgödsling vilket leder till att man måste vara restriktiv med strömängden.

Beskrivning av box:

Boxen är en tillväxtbox av så kallad ”dansk” modell. Spalt närmast inspektionsgång. Innanför spalten finns en vistelseyta och innerst mot vägg är värmehyddan placerad (se figur 23).

Bredd: 2,35 m

Längd: 4,78 m

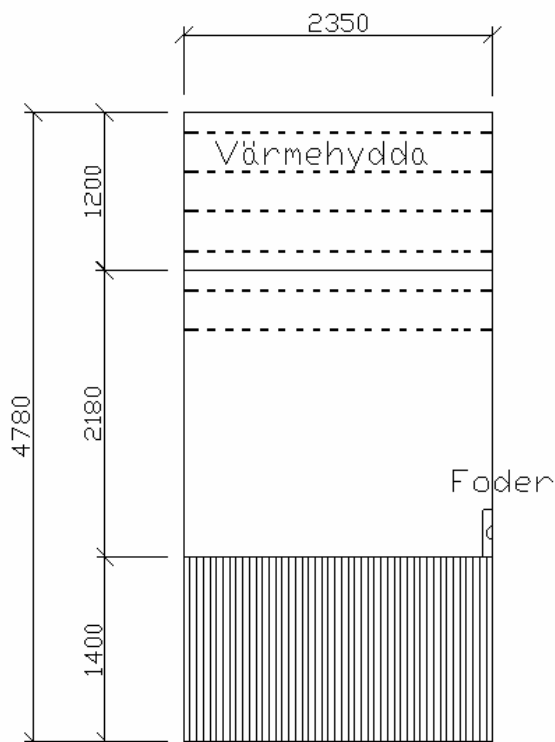
Beskrivning av hydda:

Bredd: 1,20 m

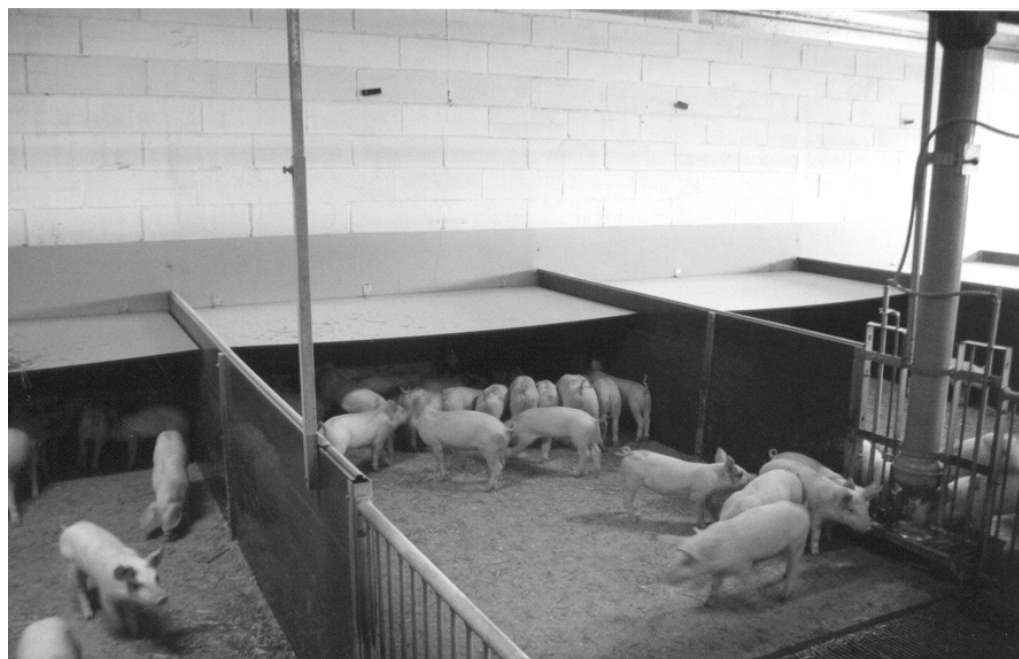
Längd: 2,35 m

Höjd: 0,67 m

Hyddan består av en plywoodskiva som fälls ned från väggen. Hyddans sidoväggar bildas av boxväggarna. Den bakre väggen bildas av avdelningsväggen. Det finns ingen front eller nedhängande ”kappa” i överkant av öppningen in mot boxen. Glipor om 20 - 30 mm i var kant mot boxväggarna mot hyddans tak sågs. Glipa om ca 10 mm sågs också vid den ledade bakkanten av taket. Golvytan i och strax framför värmetaket var försett med vattenburen golvvärme.



Figur 23. Tillväxtbox av ”dansk” modell. Streckade linjer visar golvvärmerörens placering.



Figur 24. Tillväxtboxar enligt ”dansk” modell med värmetak.



Luft rörelser i boxen:

Luft rörelserna i boxen är väldigt små (undantag värmehyddan). Med rök kan man se att luften stiger upp ur gödselrännan och drar sig mot centrum av avdelningen där fläkttrummorna är placerade.

I hyddan ser man att luften kommer in längs golvet för att sedan stiga upp mot taket och därefter försvinna ut genom frontsidans överkant och genom de springor som finns längs kanterna i taket mot boxväggarna.

Övriga noteringar:

Mätningar visar att själva värmetaket har väldigt marginell effekt för att uppnå termisk komfort. Man tillför mycket energi i golvvärmen för att uppnå dessa temperaturer.

Tabell 7. Temperaturhöjningen,  $\Delta T$ , ( $^{\circ}\text{C}$ ) i hyddan jämfört med stalltemperatur

|            | 0,60 m ovan golv       | 0,1 m ovan golv        | 0,1 m ovan golv, utan tak |
|------------|------------------------|------------------------|---------------------------|
| $\Delta T$ | 6,0 $^{\circ}\text{C}$ | 5,0 $^{\circ}\text{C}$ | 4,0 $^{\circ}\text{C}$    |

## 5 RESULTAT

### 5.1 Klimatmätningar

Tabell 8. Temperaturhöjningen,  $\Delta T$ , ( $^{\circ}\text{C}$ ) i hyddorna jämfört med stalltemperatur i de olika stallarna.

|                                 | Stall 1                | Stall 2                  | Stall 3  | Stall 4                | Stall 5                | Stall 6                |
|---------------------------------|------------------------|--------------------------|--|------------------------|------------------------|------------------------|
| $\Delta T$ (stalltemp-hyddtemp) | 0,5 $^{\circ}\text{C}$ | 4,2 $^{\circ}\text{C}$ * | 5,5 $^{\circ}\text{C}$ **<br>(3,5 $^{\circ}\text{C}$ ) | 6,0 $^{\circ}\text{C}$ | 3,5 $^{\circ}\text{C}$ | 5,0 $^{\circ}\text{C}$ |

\* Detta  $\Delta T$  är registrerad närmast under värmelampa.

\*\*  $\Delta T$  inom parentes anger den otäta hyddan.

I de flesta stallarna påvisades mer eller mindre luftläckage ur hyddkonstruktionerna. Dessa läckage var troligen den enskilt största faktorn för att man ej lyckades uppnå de önskade temperaturökningarna i hyddorna. Om man gör ett generellt antagande att grisarna åter 75% av underhållsbehovet lyckas med stor sannolikhet inget av stall 1 - 5 komma upp till lägsta kritiska temperaturen LCT. Stall 6 är troligen det stall som kommer närmast, eller till och med uppnår LCT men detta kan ej bekräftas eftersom mätningar på värmeförlusten genom golvet saknas. Detta beroende på att man tillför relativt stor mängd energi i golvet genom golvvärme och att stalltemperaturen därför är ganska hög.

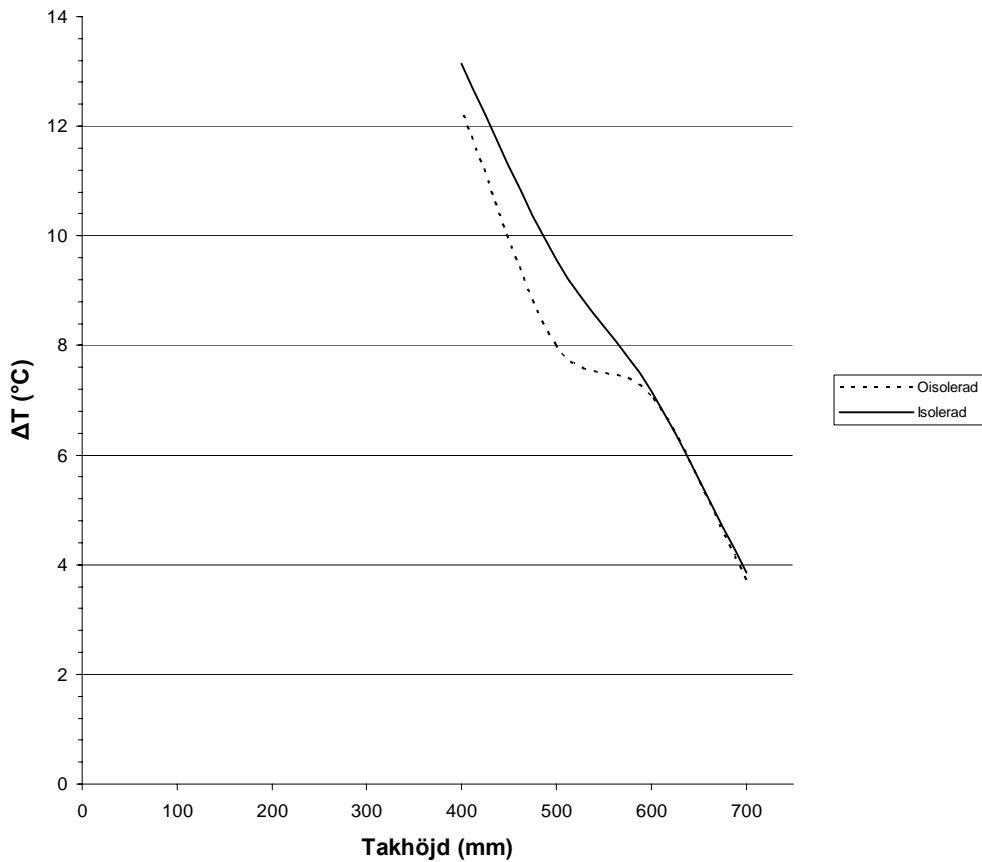
### 5.2 Värmehydd

Hyddans öppningsarea resulterar i förändrat  $\Delta T$ , d.v.s. skillnaden mellan temperaturen utanför hyddan och inne i hyddan, enligt nedanstående figur 25.

Den enskilt största faktorn för att öka temperaturen i hyddan, utan tilläggsvärme, ses här vara att minska öppningsarean. Att isolera hyddan gav ytterligare en liten ökning av medeltemperaturen men kan anses som marginell jämfört med effekten av att minska hyddans öppningsarea. Effekten av isoleringen visas som skillnad av medelvärden i tabell 9.

Tabell 9. Skillnad i temperaturhöjningen,  $\Delta T$ , medelvärde i en jämförelse mellan oisolerad kontra isolerad hydda.

| Takhöjd (mm) | Ökn. av medeltemp ( $^{\circ}\text{C}$ ) |
|--------------|--|
| 700          | 0,13                                     |
| 600          | 0,08                                     |
| 500          | 1,58                                     |
| 400          | 0,83                                     |



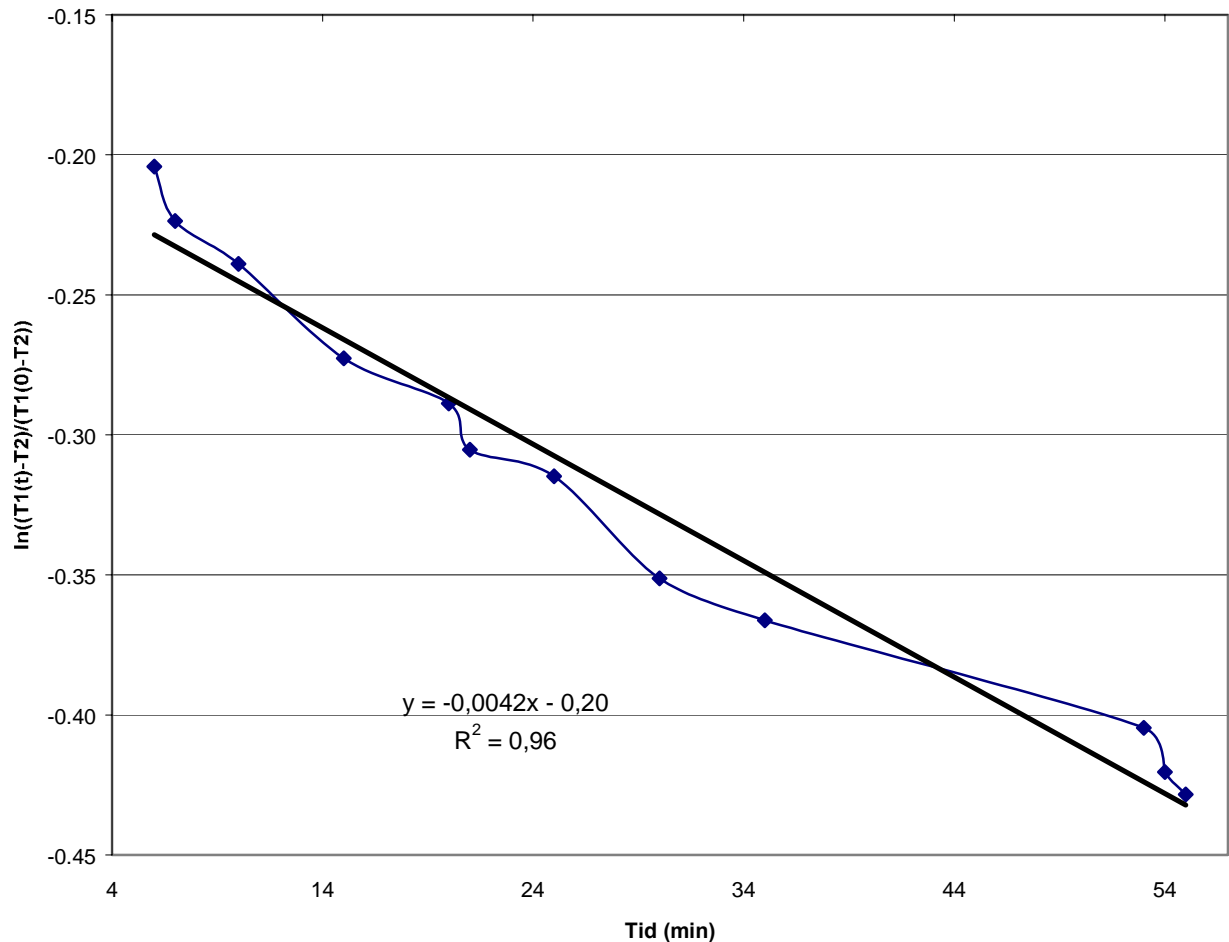
Figur 25. Påverkan av  $\Delta T$  vid olika takhöjder i prototypkydda och vid isolerad samt oisolerad kydda.

### 5.3 Värmekärl

Vid kallibreringen antogs att all värme ur värmekärllet avges till omkringliggande luft. Ur tidigare givna härledning kan förlusten genom värmekärllets väggar och tak ( $U_2$ ) lösas ut enligt:

$$U_2 = -\frac{mC_p \cdot B}{A_2} \quad (48)$$

Figur 26 visar den logaritmerade temperaturavklingningskurvan. Vid linjär regression av denna kurva avläses lutningen och sättes till  $B$ .  $R^2$ -värdet visas i diagramet för att beskriva osäkerhetsfaktorn för den linjära regressionen.



Figur 26. Lutningen på den logaritmerade temperaturavklingningskurvan.

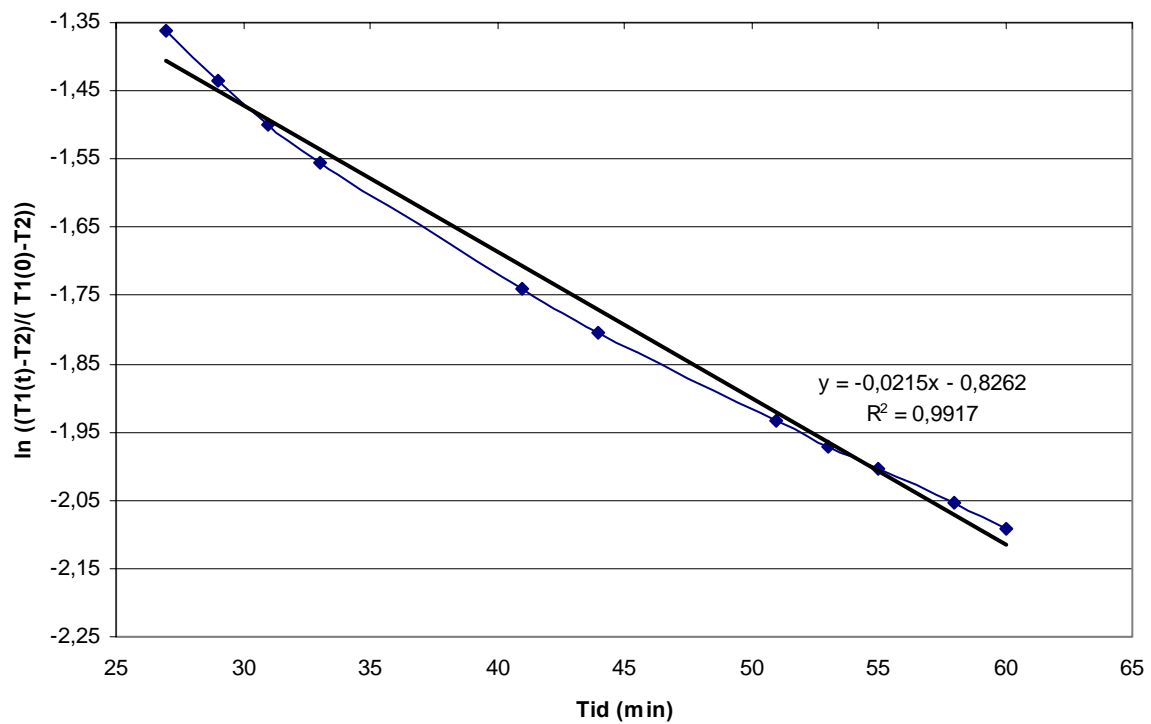
Detta ger en relativt stor värmeförlust ur värmekärlet omfattande  $1,1 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ . Detta tros bero på att värmekärlets lock läcker samt att det läcker ut från värmekärlets underdel mellan den underliggande frigoliten och värmekärlet.

Mätningar har gjorts på betonggolv dels utan halmströ och dels med två olika strömängder av hackad halm. Hacklängden var ca 30 mm. Strömängderna har karaktäriserats som en ungefärlig medeltjocklek. De två olika strömängder som använts vid mätningarna är 5 mm och 10 mm hackad halm. Vid 5 mm strömängd ser man tydligt betonggolvet mellan halmstråna och vid 10 mm ser man med svårighet betonggolvet genom halmlagret.

Vid bestämning av golvets U-värde då man antar att värmen som går ned i golvet leder mot den omkringliggande lufttemperaturen används således tidigare beskrivna ekvation 46:

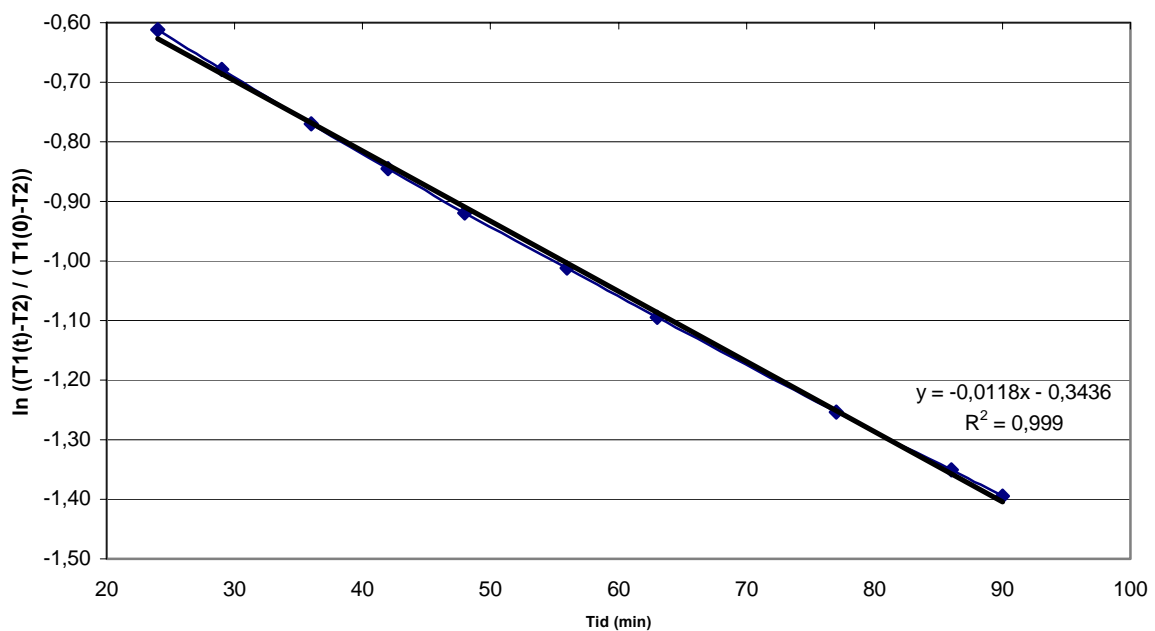
$$U_1 = -B \cdot \frac{mC_p}{A_1} - \frac{U_2 A_2}{A_1} \quad (49)$$

För betonggolv utan halm visas B-värdet som lutningen av kurvan i figur 27.



Figur 27. Lutningen på den logaritmerade temperaturavklingningskurvan för betonggolv utan strö.

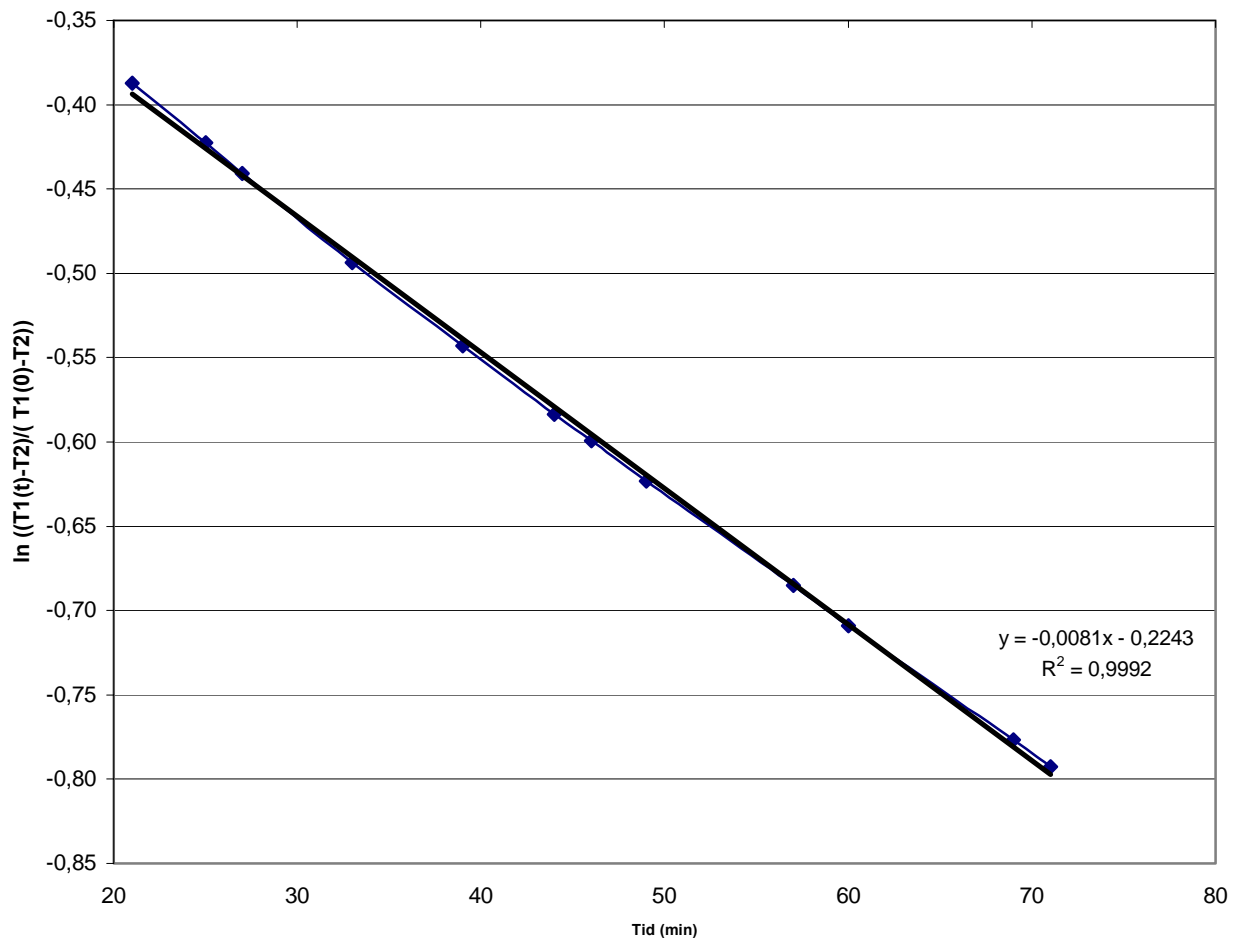
Detta ger ett U-värde på  $11,3 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ . För betonggolv med 5 mm hackad halm visas kurvan i figur 28.



Figur 28. Lutningen på den logaritmerade temperaturavklingningskurvan för betonggolv med 5 mm halm.

Detta ger ett U-värde på  $6,2 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ .

För betonggolv med 10 mm hackad halm visas kurvan i figur 29.



Figur 29. Lutningen på den logaritmerade temperaturavklingningskurvan för betonggolv med 10 mm hackad halm.

Detta ger ett U-värde på  $4,3 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ .

### 5.3.1 Lägsta kritiska temperatur efter mätningar med värmekärlet

Nyavvanda grisar utfodras olika restriktivt beroende på hur omfattande problemen är med diarréer i besättningen. Vid vetskap om att problem kan komma att uppstå utfodrar man restriktivt i preventivt syfte (Rantzer, 2003, pers. medd.). Ned till 50 % av underhållsbehovet är inte ovanligt (Rantzer et al., 1996). Därför presenteras olika delar av underhållsbehovet, från 50 % till 100 % av underhållsbehovet.

Med ledning av ovanstående uppgifter om U-värde beskrivs hur LCT, enligt Bruce & Clark (1979), påverkas i tabell 10.

Tabell 10. Lägsta kritiska temperaturen för mätningar enligt figur 27, 28 och 29 (°C).

| U-värde<br>W/m <sup>2</sup> ·K | Vikt<br>(kg) | Del av MEm |      |      |      |     |
|--------------------------------|--------------|------------|------|------|------|-----|
|                                |              | 0,5        | 0,75 | 1    | 1,5  | 1,7 |
| 11,3                           | 8            | 33,4       | 29,3 | 24,7 | 14,1 | 9,4 |
|                                | 9            | 33,3       | 29,2 | 24,5 | 13,8 | 8,9 |
|                                | 10           | 33,3       | 29,0 | 24,3 | 13,5 | 8,6 |
| 6,2                            | 8            | 33,1       | 28,8 | 24,0 | 12,9 | 7,9 |
|                                | 9            | 33,1       | 28,7 | 23,8 | 12,6 | 7,5 |
|                                | 10           | 33,0       | 28,6 | 23,6 | 12,2 | 7,1 |
| 4,3                            | 8            | 33,0       | 28,6 | 23,7 | 12,3 | 7,2 |
|                                | 9            | 32,9       | 28,5 | 23,5 | 12,0 | 6,8 |
|                                | 10           | 32,9       | 28,4 | 23,3 | 11,7 | 6,4 |

Skillnaden i LCT för en 10 kilos gris som tilldelas 0,5 gånger underhållsbehovet vid 11,3 respektive 4,3 W/m<sup>2</sup>·K är endast 0,4°C. Samma differens vid 1,7 gånger underhållsbehovet är 2,2°C. Golvets U-värde visar ha större påverkan på LCT då grisarna får större del av underhållsbehovet.

---

## **6 DISKUSSION**

### **6.1 Material och metoder.**

#### **6.1.1 Värmehyddan**

Grisar som står under avvänjning utfodras väldigt restriktivt. Ofta ger man grisen mindre foder än underhållsbehovet. Detta leder till att de är väldigt känsliga för låga temperaturer eftersom djuret då ej får tillräckligt med energi från fodret för att upprätthålla de naturliga styrmekanismer som reglerar kroppstemperaturen.

Att grisar som nyss avvants behöver extra värme tycks det råda stor enighet om bland branschfolk. Hur man ska lösa problemet råder det dock olika meningar om. Detta arbete har belyst vissa problem med de befintliga värmeåtgärder som idag praktiseras ute i besättningar. Framför allt har här visats att de olika hyddor man har för att öka värmen för grisarna inte har fungerat på grund av otätheter i hyddorna. Värmen har ofta försvunnit ut i övriga stallet och endast väldigt marginellt kommit avvänjningsgrisarna till godo.

Värmehyddans övriga utformning har här visats ha störst effekt, med avseende på att höja temperaturen, om man håller hyddans öppningsarea liten. Lämpligast görs det genom att minska takhöjden eftersom grisarna kräver viss golvyta för att rymmas i hyddan.

Ett alternativ till att ha speciella värmehyddor till avvänjningsgrisarna är att värma upp hela stallet till den temperatur som grisarna kräver. Detta förefaller tämligen oekonomiskt även om det inte här redovisas någon ekonomisk effekt av ett sådant skeende. Ett annat alternativ till värmehyddor är det man ofta ser i stallar idag, nämligen att man tar den risk för produktionsbortfall av att ha för låga temperaturer i avvänjningsgrisens närområde.

#### **6.1.2 Värmekärlet**

Bruce (1979) antar att värmen som leds från grisen ned i golvet når lufttemperaturen och utjämnas mot den. Dessutom antas ingen värme lagras i själva golvkonstruktionen. Detta troligen beroende på att det blir väldigt komplext att beskriva rent matematiskt om man ska ta hänsyn till alla faktiska faktorer. I bilaga 1 visas en härledning där man istället antar att värmen från grisen till slut utjämnas mot grundvattentemperaturen. Lösningen av denna differentialekvation kan ej appliceras med den metodik vi här har använt för att bestämma värmemotståndet i golv med Bruce (1979) antagande. Även om man lyckas pröva antagandet att värmen leds ned till grundvattentemperaturen kan man nog med rimlighet antaga att den faktiska lösningen bör vara den att värmen, i olika delar, dels går till den omkringliggande luften och dels till grundvattnet.

Värmekärlet som tagits fram i detta arbete visade sig ha relativt stora värmeförluster. Dessa påverkar dock ej resultatet som redovisas ovan eftersom den förlusten är medräknad. Om man skulle göra ett motsvarande värmekärl som i princip har försumbara förluster skulle också



teorin om att värmen utjämnas mot grundvattentemperaturen kunna prövas på motsvarande sätt enligt härledning i bilaga 1.

Den vedertagna formel Bruce & Clark (1979) tagit fram för att beräkna LCT visar att golvet U-värde har större påverkan på LCT då grisarna får större del av underhållsbehovet. Det rimliga antagandet borde vara att grisarna är mer känsliga för hur mycket värme som försvinner genom golvet då de utfodras restriktivt och då är mer beroende av värme. Detta borde undersökas mer.

## **6.2 Klimatundersökning**

De värmehyddor som undersökts här har ej visats ge den värmeökning man behövt eller förväntat. Men vissa andra iakttagelser har varit intressanta. Själva handhavandet av grisarna/griskullarna vid avvänjningen kan ha stor betydelse. Att med någon metod kunna locka in grisarna relativt fort och vänja dem vid värmehyddan bör kunna spela en stor roll på grisarna hälsa. Detta kan göras på flera olika sätt. Några har visats i denna skrift, t.ex. att ha värmehyddan belyst och övriga stallet relativt mörkt. Även det stallet som endast strör i själva värmehyddan initieellt och sedan successivt strör i övriga boxen allteftersom grisarna gödslar där verkar uppnå en effekt att grisarna lockas in i värmehyddan tämligen snabbt.

## **6.2 Slutsatser**

- Avvänjningsgrisar behöver ofta omgivningstemperaturer över 30 °C
- Bygg ”täta” värmehyddor
- Håll hyddans takhöjd minimal
- Använd värmereflekterande ytor i hyddan
- Locka tidigt in grisarna i värmehyddan
- Använd mycket strö
- Bruce & Clarks formel för LCT verkar inte stämma för avvänjningsgrisar

---

## REFERENSER

### 7.1 Litteratur

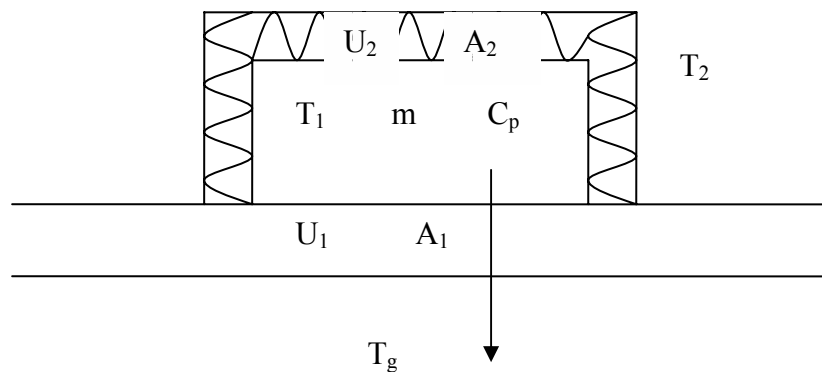
- Bruce, J.M. 1979. *Heat loss from animals to floors*. Farm building progress No. 55. Scottish Farm Building Investigation Unit. Aberdeen.
- Bruce, J.M. & Clark, J.J. 1979. *Models of heat production and critical temperature for growing pigs*. Animal production Vol 28. pp 353-369.
- Ehrlemark, A. 1988. *Calculation of sensible heat and moisture loss from housed cattle using a heat balance model*. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för lantbrukets byggnadsteknik, Rapport nr: 60, 48 s. Uppsala.
- English, P.R., Fowler, V.R., Baxter, S. & Smith, B. 1996. *The growing and finishing pig: improving efficiency*. Farming Press UK. ISBN 0-85236-138-6.
- Feenstra, 1985. Effects of air temperature on weaned piglets. Pig News and Inform. 6: 295-299.
- Gustafsson, G. 1988. *Luft och värmebalanser i djurstallar*. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för lantbrukets byggnadsteknik, Rapport nr: 59. Lund.
- Houszka, H.M. 2001. *Thermal conditions within a piglet creep area covered with different surface materials*. Institute of Building and Landscape Architecture, Agricultural University of Wroclaw, Poland.
- Holmes, C.W. & McLean, N.A. 1975. *The heat production of groups of young pigs exposed to reflective or non-reflective surfaces on walls and ceilings*. Trans. of the ASAE 1977, p. 527-528.
- Joyce, J.P. & Blaxter, K.L. 1964. *The effect of air movement, air temperature and infra-red radiation on the energy requirements of sheep*. Brit. J. Nutr. 18:5-27.
- LeDividich, J., Vermorel, M., Nobel, J., Bouvier, J.C. & Aumaitre A. 1980. *Effects of environmental temperature on heat production, energy retention, protein and fat gain in early weaned piglets*. Br. J. Nutr. 44:313-323.
- Löfstedt, M., Holmgren, N. & Lundeheim N. 2000. *Risk factors for post weaning diarrhoea in Swedish pig herds*. The 16<sup>th</sup> International Pig Veterinary Society Congress, Melbourne, Australia.
- McCracken, K.J. & Caldwell, B.J. 1980. *Effect of temperature and energy intake on heat loss and energy retention on the early weaned pig*. In Energy Metabolism (ed. L.E. Mount) Publ. Eur. Ass. Anim. Prod. 26: 445-448, Butterworth, London.

- Mount, L.E. 1974. Thermal neutrality. In Monteith, J.L. & Mount, L.E. Heat loss from animals and man. p 425-439. Butterworths, London.
- Mount, L.E. 1979. *Adaption to thermal environment*. Edward Arnold Ltd. London.
- Olsson, O. 1998. Smågrisar kräver extra värme. Djurhälsonytt Nr 4/98. Svenska Djurhälsovården, Johanneshov.
- Rantzer, D., Svendsen, J. & Weström, B. 1996. *Effects of a strategic feed restriction on pig performance and health during the post-weaning period.* Animal Science. 1996, 46, s 219-226. Acta Agriculture Scandinavica.
- Se`ve B. 1982. Age at weaning, development of chemical body components, and energy utilization in piglets from 3-25 kg live weight. Livest. Prod. Sci. 9:603-617.
- Sällvik, K. 1999. *Husdjurens termiska närmiljö*, Undervisningskompendium, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för jordbrukets biosystem och teknologi. Uppsala.
- Wathes, C.M., Miller, B.G. & Bourne F.J. 1989. *Cold stress and post-weaning diarrhoea in piglets inoculated orally or by aerosol.* Anim. Prod. 49: 483-496.
- Whittemore, C.T., Taylor, H.M., Henderson, R., Wood, J.D. & Brack, D.C. 1981. *Chemical and dissected composition changes in weaned piglets.* Animal Prod. 32:203-210.

## **7.2 Personliga meddelanden**

- Holmgren, Nils, 2001. Svenska Djurhälsovården. Skara.
- Rantzer, Dan, 2003. JBT, SLU Alnarp.

## 8 BILAGA 1



Figur 30. Principskiss för värmekärl då värmen antas leda mot grundvattentemperatur.

Förutsättningar:

|         |  |
|---------|--|
| $T_1 =$ | Vattentemp i värmekärl (K)                       |
| $T_2 =$ | Lufttemperatur (K)                               |
| $T_g =$ | Grundvattentemperatur (K)                        |
| $m =$   | Vattnets massa (kg)                              |
| $C_p =$ | Specifik värmekapacitet (J/kg·K)                 |
| $UA =$  | Total värmegenomgång (W/K)                       |
| $U_1 =$ | Golvets värmemotstånd (W/m <sup>2</sup> ·K)      |
| $U_2 =$ | Värmekärlets värmemotstånd (W/m <sup>2</sup> ·K) |
| $A_1 =$ | Golvets area under värmekärlet (m <sup>2</sup> ) |
| $A_2 =$ | Värmekärlets inre area (m <sup>2</sup> )         |
| $t =$   | Tid (s)  |

Följande värmebalans gäller:

$$UA = U_1 A_1 + U_2 A_2$$

$$-mC_p \cdot \frac{dT_1}{dt} = U_1 A_1 \cdot (T_1 - T_g) + U_2 A_2 \cdot (T_1 - T_2) \quad (50)$$

Detta är en första gradens differentialekvation som har lösningen:

$$\frac{dT_1}{dt} + \frac{(U_1 A_1 + U_2 A_2) \cdot T_1}{mC_p} = \frac{U_1 A_1 \cdot T_g + U_2 A_2 \cdot T_2}{mC_p} \quad (51)$$

$$T_1(t) = T_1 s(t) + D \cdot e^{-bt} \quad \text{där } T_1 s(t) \text{ är stationär lösning} \quad (52)$$

$$\text{där } \frac{(U_1 A_1 + U_2 A_2) \cdot T_1}{m C_p} = b \quad (53)$$

$$\text{och } \frac{U_1 A_1 \cdot T_g + U_2 A_2 \cdot T_2}{m C_p} = f \quad (54)$$

$$T_1 s(t) = F(t) \cdot e^{-bt} \quad (55)$$

$$F'(t) = f \cdot e^{bt} \quad (56)$$

$$\Rightarrow F = \frac{f}{b} \cdot e^{bt} \quad (57)$$

$$T_1 s(t) = \frac{f}{b} \cdot e^{bt} \cdot e^{-bt} = \frac{f}{b} = \frac{U_1 A_1 \cdot T_g + U_2 A_2 \cdot T_2}{U_1 A_1 + U_2 A_2} \quad (58)$$

$$T_1(t) = T_1 s(t) + D \cdot e^{-bt} = \frac{U_1 A_1 \cdot T_g + U_2 A_2 \cdot T_2}{U_1 A_1 + U_2 A_2} + D \cdot e^{-bt} \quad (59)$$

$$T_1(0) = \frac{U_1 A_1 \cdot T_g + U_2 A_2 \cdot T_2}{U_1 A_1 + U_2 A_2} + D \quad (60)$$

$$D = T_1(0) - \frac{U_1 A_1 \cdot T_g + U_2 A_2 \cdot T_2}{U_1 A_1 + U_2 A_2} \quad (61)$$

$$T_1(t) = \frac{U_1 A_1 \cdot T_g + U_2 A_2 \cdot T_2}{U_1 A_1 + U_2 A_2} + \left( T_1(0) - \frac{U_1 A_1 \cdot T_g + U_2 A_2 \cdot T_2}{U_1 A_1 + U_2 A_2} \right) \cdot e^{-bt} \quad (62)$$

$$e^{-bt} = \frac{T_1(t) - \frac{U_1 A_1 \cdot T_g + U_2 A_2 \cdot T_2}{U_1 A_1 + U_2 A_2}}{T_1(0) - \frac{U_1 A_1 \cdot T_g + U_2 A_2 \cdot T_2}{U_1 A_1 + U_2 A_2}} \quad (63)$$

$$b = -\frac{1}{t} \cdot \ln \left( \frac{T_1(t) - \frac{U_1 A_1 \cdot T_g + U_2 A_2 \cdot T_2}{U_1 A_1 + U_2 A_2}}{T_1(0) - \frac{U_1 A_1 \cdot T_g + U_2 A_2 \cdot T_2}{U_1 A_1 + U_2 A_2}} \right) =$$

$$= \frac{U_1 A_1 + U_2 A_2}{m \cdot C_p} = \{U_{tot} \cdot A_{tot} = U_1 A_1 + U_2 A_2\} = \frac{U_{tot} \cdot A_{tot}}{m \cdot C_p} \quad (64)$$

$$U_{tot} = -\frac{m \cdot C_p}{A_{tot}} \cdot \frac{1}{t} \cdot \ln \left( \frac{T_1(t) - \frac{U_1 A_1 \cdot T_g + U_2 A_2 \cdot T_2}{U_1 A_1 + U_2 A_2}}{T_1(0) - \frac{U_1 A_1 \cdot T_g + U_2 A_2 \cdot T_2}{U_1 A_1 + U_2 A_2}} \right) = \frac{U_1 A_1 + U_2 A_2}{A_{tot}} \quad (65)$$

$$\ln \left( \frac{T_1(t) - \frac{U_1 A_1 \cdot T_g + U_2 A_2 \cdot T_2}{U_1 A_1 + U_2 A_2}}{T_1(0) - \frac{U_1 A_1 \cdot T_g + U_2 A_2 \cdot T_2}{U_1 A_1 + U_2 A_2}} \right) = -\frac{U_{tot} \cdot A_{tot}}{m \cdot C_p} \quad (66)$$

Formeln kan utnyttjas för linjär regression på formeln  $y = a + b \cdot t$

$$\text{där } \ln \left( \frac{T_1(t) - \frac{U_1 A_1 \cdot T_g + U_2 A_2 \cdot T_2}{U_1 A_1 + U_2 A_2}}{T_1(0) - \frac{U_1 A_1 \cdot T_g + U_2 A_2 \cdot T_2}{U_1 A_1 + U_2 A_2}} \right) = y \quad (67)$$

$$\text{och } \frac{U_{tot} \cdot A_{tot}}{m \cdot C_p} = b \quad (68)$$

b kan nu lösas med linjär regression vilket ger att  $U_1$  kan lösas ut enligt nedan:

$$U_{tot} = -\frac{m C_p}{A_{tot}} \cdot B = U_1 A_1 + U_2 A_2 \quad (69)$$

$$U_1 = -\frac{m C_p}{A_{tot}} \cdot B - U_2 \cdot \frac{A_2}{A_1} \quad (70)$$